

电力 地理信息系统

倪建立 孟令奎 王宇川 高劲松 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：肖 兰 刘丽平

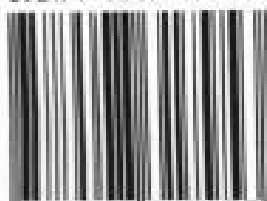


电力地理信息系统是利用地理信息系统技术，结合电力系统的运行、维护、管理和电能营销、客户服务等科学技术，实现电网安全运行、维护、管理和经营活动正常运转的一门综合性的科学与技术，是电力信息化发展的重要方向之一。

本书结合作者在电力地理信息系统建设中的实际经验积累和电力系统建设对现代高新技术的需求，着眼于实用，系统地阐述了电力地理信息系统工程建设规划、项目实施和开发、运行维护的技术和方法，详细论述了电力地理信息系统的发展、输变电地理信息系统和配电地理信息系统的应用与开发技术。对于从事电力地理信息系统研究和应用人员全面了解电力地理信息系统的理论和方法具有重要的实用价值。

本书可供电力企业生产运行管理人员，从事电力信息化的科研、教学和产品研发人员，高等院校电力系统相关专业的学生学习和参考。

ISBN 7-5083-1795-5



9 787508 317953 >

ISBN 7-5083-1795-5

定价： 24.00 元



电力 地理信息系统

倪建立 孟令奎 王宇川 高劲松 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

M421/B

内容提要

本书用 12 章

内容,从 8 个方面对电力地理信息系统技术与方法进行了论述与探讨。其主要内容包括:地理信息系统及在电力系统中的应用、全球定位系统与数字摄影测量系统技术、GIS 工程分析与设计和 GIS 工程实施、输变电地理信息系统、配电管理系统与配电自动化系统、配电地理信息系统及其空间数据库设计与应用、电力地理信息系统开发策略与技术、常用平台简介等,对电力地理信息系统的教学、科研和产品研发、工程实施与应用具有很大的参考价值和指导意义。

本书可供电力企业的生产运行管理人员、高等院校相关专业专业的学生,及从事电力信息化的科研、教学和产品研发、市场营销人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力地理信息系统/倪建立等著. -北京:中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-1795-5

I. 电... II. 倪... III. 地理信息系统-应用-电力系统 IV. TM769

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 098147 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

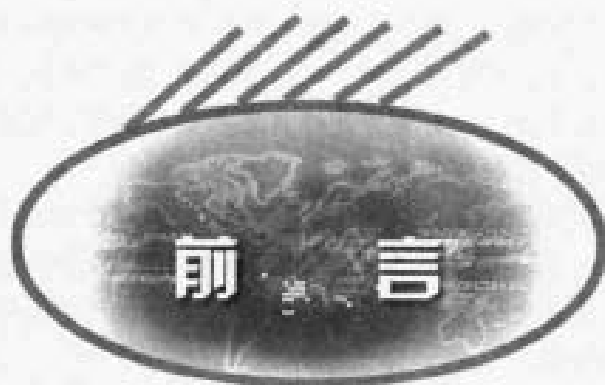
2004 年 2 月第一版 2004 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 14.75 印张 331 千字

印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



信息化是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。随着世界范围内的电力体制改革浪潮及国内电力体制改革的深入,电力企业正全面走向市场经济。如何利用现代科学技术提高企业效益,提升企业竞争力,满足社会对电力企业的要求,完善电力企业客户服务手段已成为人们讨论的热点。而传统的信息处理技术已不能适应电力企业对越来越复杂的电网运行、维护、管理及市场与客户服务的需求。为此,以地理信息系统技术解决电力企业信息系统建设面临的问题是电力企业关注的重点。

地理信息系统是集计算机科学、地理学、测绘学、遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学、应用数学和管理科学为一体的新兴交叉学科。它以整个地球或部分区域的资源、环境等空间数据为基础,在计算机软件、硬件、网络等技术支持下,采用地理空间分析方法,通过对地理空间数据的采集、存储、处理、检索、显示和综合分析,为管理和决策适时提供多种空间的和动态的地理空间资源信息。

电力地理信息系统就是利用地理信息系统技术,结合电力系统的运行、维护、管理和电能营销、客户服务等科学技术,实现电网安全运行、维护、管理和经营活动正常运转的一门综合性的科学与技术。地理信息系统技术在电力系统中的应用主要体现在发电、输变电、配电和电力营销等各重要环节。电力系统生产车间地域分布广,涉及的设备数量庞大,设备设施更改频繁,社会对电能质量要求高,客户服务影响深等。从实际情况看,电网的各种信息与空间地理环境有着密切联系,利用 GIS 技术管理和处理这些信息,对于提高电力系统生产效率和效益、管理质量和科学决策水平等具有十分重要的现实意义。因此,地理信息系统技术在国内电力系统的应用从 20 世纪 90 年代中期到现在,无论从应用的广度或者深度均得到了广泛发展,是未来电力信息化发展的重要方向之一。

本书作者结合十多年从事电力信息化(电力地理信息系统)的科研、教学和工程规划设计、软件开发及项目实施的经验与教训,从 8 个方面对电力地理信息系统技术与方法进行了论述与探讨。其主要内容包括:地理信息系统及在电力系统中的应用、全球定位系统与数字摄影测量系统技术、GIS 工程分析与设计和 GIS 工程实施、输变电地理信息系统、

配电管理系统与配电自动化系统、配电地理信息系统及其空间数据库设计与应用、电力地理信息系统开发策略与技术、常用平台简介等。全书共 12 章内容，详细地论述和探讨了电力地理信息系统的技术和方法，对电力地理信息系统的教学、科研和产品研发、工程实施与应用具有很大的参考价值和指导意义。

本书可供电力企业的领导、信息化专业工程师、生产运行管理人员和高等院校电力系统自动化专业、供用电专业、计算机应用专业、地理信息系统专业的本科生及研究生使用，也可作为从事电力信息化的科研、教学和产品研发、市场营销专业人士了解电力地理信息系统知识与方法的参考。

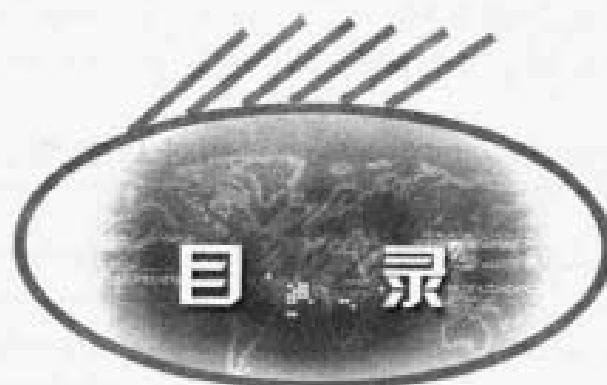
参加本书编写的人员有：陕西省电力公司倪建立；武汉大学遥感信息工程学院孟令奎、黄长青、秦昆、贾永红、谢文寒、赵春宇、薛玉彩；华中师范大学信息管理系高劲松；第二炮兵指挥学院王宇川、章俊；四川省测绘局陈现春；广东电力勘测设计研究院陈志刚；长江水利委员会吴祥华。全书由倪建立、孟令奎统一修改成书。

在本书编著中得到了陕西省电力公司赵杰臣总经理、吕云仑副总经理和王天才副总经理、科教部刘勇主任和原科教部刘延生（博士）主任的大力支持和帮助，在此表示深切的感谢。陕西银河电力自动化股份有限公司总工程师刘健教授（博士后）、水利部信息中心副主任蔡阳教授、上海市电力公司总经理帅军庆高级工程师、陕西电力信通公司总工程师陆明怡高级工程师和副总经理王旭高级工程师、InterGraph 北京办事处梅宝燕分别审阅了有关章节，作者对他们的辛勤劳动表示感谢，对书中引用的有关资料的作者表示谢意。同时，作者对倪建立夫人王延凤同志在成书过程中的大力支持和理解深表谢意！

由于作者水平有限，加之电力信息化和地理信息系统技术发展很快，书中有不妥之处敬请读者批评指正，作者不胜感激！

作 者

2003 年 9 月



前言

1 地理信息系统 1

1.1 概述	1
1.2 地理信息系统的功能及特点	4
1.3 地理信息系统的组成	7
1.4 空间数据分类与特点	9
1.5 地理信息系统的数据结构	11
1.6 地理信息系统的数据库	13
1.7 空间数据库的组织和管理	15
1.8 地理信息系统与其他系统的集成	17
1.9 地理信息系统在电力系统中的应用	21

2 全球定位系统 27

2.1 GPS 定位技术的发展及特点	27
2.2 GPS 的组成	28
2.3 其他卫星定位系统	32
2.4 GPS 在电力系统中的应用	34

3 数字摄影测量系统 40

3.1 数字摄影测量系统概述	40
----------------------	----

3.2	数字摄影测量系统的组成与功能	42
3.3	数字摄影测量系统在电力系统中的应用	44

4 地理信息系统工程的分析、设计与实施 47

4.1	电力 GIS 工程建设基本步骤	47
4.2	可行性分析	49
4.3	需求分析	52
4.4	总体设计	58
4.5	详细设计	70
4.6	编码	73
4.7	软件测试	77
4.8	系统维护	81
4.9	配置管理	82
4.10	文档管理	87

5 输变电地理信息系统 88

5.1	输变电系统规划与设计概要	88
5.2	输变电 GIS 功能需求分析及总体结构	90
5.3	输变电 GIS 数据库设计	96
5.4	输电线路规划设计中的选线与排位	101
5.5	雷电定位	111

6 配电管理系统与配电自动化系统 114

6.1	配电管理系统的发展状况及存在的问题	114
6.2	配电系统的特点及配电管理系统功能结构	116
6.3	配电自动化系统	120

7 配电地理信息系统 130

7.1	配电地理信息系统概述	130
7.2	配电 GIS 特点与功能	132
7.3	配电 GIS 的主要技术	139

8**配电地理信息系统空间数据库设计**

148

- 8.1 配电地理信息系统空间数据库设计原则 148
- 8.2 静态空间数据库设计与组织 149
- 8.3 空间数据库集成 153
- 8.4 空间数据库管理与更新 155

9**配电地理信息系统应用**

159

- 9.1 空间数据的输入 159
- 9.2 设备设施管理 161
- 9.3 配电 GIS 中的符号制作 170
- 9.4 配电 GIS 中的综合信息浏览 175
- 9.5 与客户故障报修系统联动 179
- 9.6 实时信息可视化处理 182

10**电力地理信息系统开发策略**

185

- 10.1 一把手原则 185
- 10.2 统筹规划、分步实施 186
- 10.3 以效益为中心 187
- 10.4 培养自主技术力量 187
- 10.5 遵循标准与规范 188
- 10.6 系统维护与建设同步 190

11**电力地理信息系统开发技术**

191

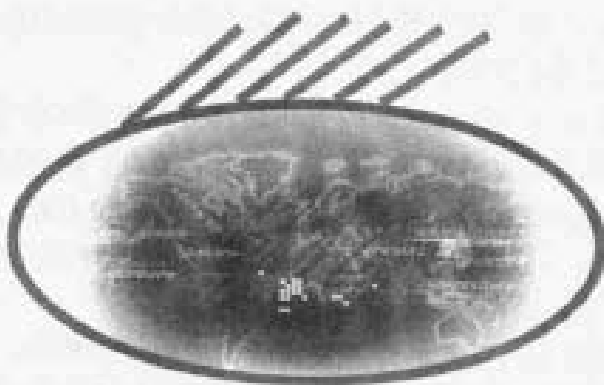
- 11.1 集成式开发 191
- 11.2 基于互联网 GIS 的开发技术 192
- 11.3 基于组件式 GIS 的开发技术 197
- 11.4 基于 WebGIS 的开发技术 200

12**常用开发平台简介**

209

- 12.1 Arc/Info 209
- 12.2 ArcGIS 211

12.3	InterGraph C/Technology	215
12.4	MapInfo	219
附录 电子地图分层与处理系统		224
参考文献		227



1

地理信息系统

地理信息系统是一门新兴科学技术，自从这门技术出现以来，其应用越来越广泛和深入。那么，地理信息系统的基本概念、功能及特点、组成是什么？数据结构、数据模型以及它与其他信息系统的集成如何开展？目前在电力系统的应用状况如何？这些问题是本章讨论的重点。因此，本章是全书的基本概念篇。

1.1 概 述

随着以信息高速公路为标志的信息时代和空间时代的到来，人们越来越意识到空间信息的重要性。信息高速公路（Information Super-Highway, ISH）又称国家信息基础设施（National Information Infrastructure, NII），是美国前副总统戈尔于 1994 年最先提出的，是由国家级、地区级和大企业级的数据库、声像设备以及覆盖全国全球的通信网络组成，并通过 Internet 连接全球的计算机通信网络，是一个能给全球广大客户随时提供大量信息及信息服务的计算机网络系统。作为信息高速公路的重要组成部分，地理信息系统（Geographical Information System, GIS）越来越成为人们解决各方面问题的有力工具，尤其是在空间信息方面。具有空间特征的地理信息系统是一门 20 世纪末迅猛发展起来的科学、技术和新兴产业，现已成为一个跨学科、多方向的研究领域，拥有广阔的发展前景。

1.1.1 相关概念

信息产业作为一种新兴产业越来越受到人们的重视，信息革命的浪潮正在冲击着人类社会，许多新的概念和术语也纷纷涌现。在理解地理信息系统的概念之前，了解一些与其相关的概念十分必要。

信息就是现实世界状态的反映，是用文字、数字、符号、语言等介质来表示事件、事物、现象等意义和内容，它不随载体的物理形式的改变而改变，具有客观性、实用性、可传输性和共享性等特征。而数据（Data）是信息的符号表示，指对某目标进行定性、定量

描述的原始材料,包括数字、文字、符号、图形、图像等。信息用与物理介质有关的数据表达,而数据中包含的意义就是信息,信息和数据密不可分。

地理信息 (Geographical Information) 是指与所研究对象的空间地理分布有关的信息,是对表达地理特征与地理现象之间关系的地理数据的解释。它表示地上、地表、地下物体及环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律等。而地理数据 (Geographical Data) 则是各种地理特征和现象间关系的符号化表示,包括空间位置、属性特征和时间特征三部分,它们构成了地理空间分析的三大基本要素。

系统 (System) 是指具有特定功能的相互有机联系的许多要素所构成的一个整体。信息系统 (Information System) 则指的是具有采集、存储、管理、分析和表达数据能力并且可以回答客户一系列问题的系统。计算机时代的信息系统都部分或全部由计算机系统支持,一般由计算机硬件、软件、数据和客户四个主要要素组成。如企业管理系统、图书情报信息系统、空间信息系统和其他一些信息系统等,其中,空间信息系统 (Spatial Information System) 是采集、管理、处理和更新空间信息的信息系统。

1.1.2 地理信息系统的概念

目前,由于受地理信息系统诞生历史不长、发展速度很快、应用领域广泛等因素的影响,在地理信息系统的定义问题上仍存在分歧,还没有形成一个普遍的共识。

地理信息系统在实际中为不同领域的客户所使用,因而不同客户对地理信息系统的理解都有所不同。制图界非常重视 GIS 快速生产高质量地图的能力,认为 GIS 是一种地图数据处理和显示系统,强调 GIS 作为信息载体和传播媒介的地图功能。计算机科学界认为 GIS 是一个完整的数据库管理系统,强调数据库系统在 GIS 中的重要地位。而普遍的 GIS 界则认为 GIS 是一门空间信息科学,强调 GIS 的空间分析和模型分析功能。总之,地理信息系统的外观表现为计算机软硬件系统,其内涵则是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间模型,一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统,从中可以提取地理系统各个不同侧面,不同层次的空间和时间特征,也可以将自然发生或思维规划的过程加在这个数据模型之上,取得对自然过程的分析 and 预测信息,用于管理和决策。所以,地理信息系统是一门集多学科为一体的新兴的交叉学科,是以整个地球或部分区域的资源、环境等空间数据为基础,在计算机软硬件支持下,采用地理模型分析方法,通过对地理空间数据的采集、存储、处理、检索、显示和综合分析,适时提供多种空间的和动态的地理空间信息,用于管理和决策过程的技术系统。

地理信息系统的概念有三层含义:

(1) 地理信息系统是一门新兴交叉学科。地理信息系统是集计算机科学、地理学、测绘学、遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学、应用数学和管理科学为一体的新兴交叉学科。GIS 作为一门学科,主要研究以下内容:

- 1) GIS 的概念、定义和内涵;
- 2) GIS 信息处理方法;
- 3) GIS 理论系统;

- 4) GIS 的构成、功能、特点和任务;
- 5) GIS 发展历史;
- 6) GIS 发展方向;
- 7) GIS 技术系统设计和开发方法策略等。

(2) 地理信息系统是一项综合性的高新技术。地理信息系统是运用地理模型对地理空间数据进行综合分析、预测未来和模拟现实的一项技术。GIS 技术包括数据采集、存储、管理、空间分析方法、专题分析模型、系统集成技术和地理专家系统等。

(3) 地理信息系统是一个特殊的计算机信息系统。地理信息系统是在计算机软硬件支持下用于采集、处理、检索、模拟、分析和表达地理空间数据的计算机信息系统。它由计算机软硬件、地理数据、系统开发、管理和使用人员以及计算机网络组成,有数据采集和编辑、数据管理和组织、应用分析、结果显示输出和数据更新五大功能,能够由地理空间数据提供高层信息为管理和决策服务。

1.1.3 地理信息系统的发展

地理信息系统技术的发展是与地理空间信息的表示、处理、分析和应用手段的不断发展分不开的。国内外发现的较早的关于地理空间信息的表示可追溯到中国宋代的地图(地理图碑)和罗马时代的地图。到 18 世纪,欧洲文明的昌盛,才使人类实现了图纸地图,进而到 19 世纪出现了各种不同的地图和专题图。这些地图和专题图可谓模拟的地理信息系统。到 20 世纪中叶,随着计算机的诞生和发展,出现了计算机化的数字地图,从而进入了数字的地理信息系统时代。我们现在所称的地理信息系统通常指的是以数字地图(或电子地图)为基础的地理信息系统。

20 世纪 60 年代初,加拿大的测量专家 Roger F. Tomlinson 和美国的 Durane F. Marble 在不同地方从不同角度最先提出了地理信息系统这一术语。之后,世界上第一个 GIS——加拿大地理信息系统(CGIS)建立并于 1972 年全面投入运行和使用。从此,地理信息系统得到了迅速的发展和推广。

地理信息系统的发展是与计算机软硬件的发展紧密相连的。GIS 发展分为以下几个阶段:

1. 萌芽期(60 年代)

随着计算机技术的发展,特别是专家的兴趣以及政府的推动,地理信息系统得以较快的发展。这一时期的 GIS 主要是关于城市和土地利用的,其软件功能有限,注重于空间数据的地学处理。同时,许多与 GIS 有关的组织和机构纷纷建立,例如,国际地理联合会(IGU)于 1968 年设立了地理数据收集和处理委员会(CGDSP)。

2. 巩固期(70 年代)

随着计算机软硬件技术的飞速发展和 GIS 专业化人才的不断增加,以及资源开发和环保问题引起的社会需求的增多,许多不同区域不同规模和主题的各具特色的地理信息系统得到了很大发展。这一时期的 GIS 的应用和开发多限于政府性、学术性机构,其软件的数据分析能力仍然很弱,注重于空间信息的管理。

3. 突破期 (80 年代)

由于计算机的性价比的提高和计算机网络的建立, GIS 的应用领域迅速扩大, 数据传输速率极大提高, 功能也得到了较大的拓展, 注重于空间决策支持分析。同时, 许多政府性、学术性机构和软件制造商大量涌现, 市场上也出现了许多商用化系统。

4. 拓展普及期 (90 年代)

随着地理信息产业的逐步建立和信息产品在全世界的普及, 社会对地理信息系统的认识普遍提高, 社会需求大幅增加。

我国的地理信息系统的发展是从 80 年代初研究资源与环境信息系统开始的, 大致经历了以下几个阶段:

(1) 1980 年以前为理论准备和人才培养阶段。GIS 得到了启蒙研究。

(2) 1980 ~ 1985 年为起步阶段。完成技术引进, 规范研究的制定以及区域实验等。

(3) 1986 ~ 1990 年为初步发展阶段。GIS 研究和应用已经有组织、有计划、有明确的攻关目标, 并逐步与国民经济建设和社会生活需求相结合, 为区域管理、规划和辅助决策提供服务。

(4) 90 年代为快速发展阶段。GIS 实用化、集成化和工程化, 国产软件得到迅速发展。

1.2 地理信息系统的功能及特点



1.2.1 地理信息系统的基本功能

地理信息系统处理地理信息的功能强大, 贯穿数据采集—分析—应用的全过程。GIS 的基本功能至少包括以下几个方面:

1. 数据采集和编辑

GIS 要对多种形式 (影像、图形和属性)、多种来源 (野外测量、航测遥感和地图数字化等) 的数据, 实现多种方式 (自动、半自动或人工) 的数据输入, 建立空间数据库。

数据采集是对系统外部的原始数据 (多种来源、多种形式) 进行必要的编码和写入数据库的操作过程。

数据采集的方式与所使用的设备密切相关, 常用的几种方式如下:

(1) 数字化方式。使用手扶跟踪数字化仪采集有关图形的点、线、面的位置坐标; 使用光栅扫描数字化仪采集图像的网格数据。

(2) 鼠标及键盘输入方式。用鼠标绘制各种图形, 用键盘输入有关图像、图形的属性数据。

(3) 磁盘、光盘方式。主要是对现有的原始数据 (电子地图、属性数据库文件) 以文件方式用磁盘、光盘作为媒介进行输入。

(4) 对电子地图等也可以用网络传输输入。

GIS 数据源及其采集方式如图 1-1 所示。

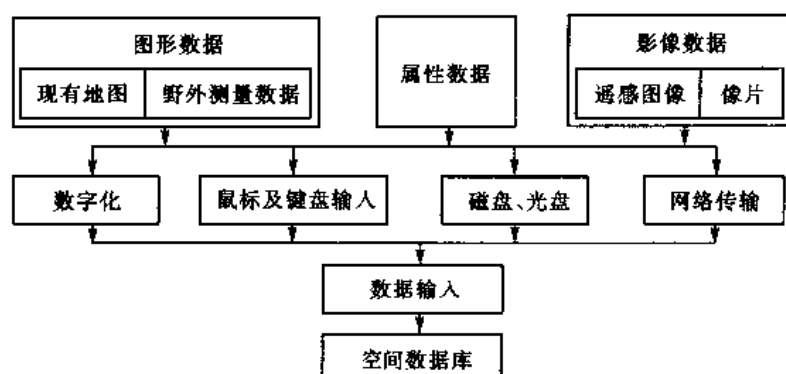


图 1-1 GIS 数据采集

在 GIS 的数据输入过程中，通过各种输入设备采集到的数据难免产生或引入一些差错，这就要求 GIS 对空间数据和属性数据应具备编辑功能以修正所出现的错误。通常，大多数 GIS 的数据编辑是比较耗时的交互式处理过程。对空间数据有图幅定向、文件管理、图形编辑（修正、增加、删除和更新）、生成拓扑关系、图形修饰与几何计算、图幅拼接等编辑功能；对属性数据则有修改、增加、删除和更新、数据库结构的修改以及与空间数据关联的编辑功能。无论是空间数据编辑，还是属性数据编辑，均需要建立简便易用、直观的对话框以便于人机交互。

2. 数据存储和组织管理

空间数据库的数据量大，空间数据与属性数据不可分离，而且数据应用面广。因而，须对数据库进行有效地管理，使数据冗余量小，数据与应用程序相对独立，选择合适的数据结构和数据模型。如图 1-2 所示，空间数据一般有栅格结构、矢量结构和栅格矢量混合结构三种组织方式；而对属性数据则有层次模型、网络模型和关系数据模型等进行描述和表达，其中关系数据库系统应用最为广泛。

由于空间数据往往关联诸多的属性数据地图，大量的属性数据通常采用关系型数据库与空间数据库分别存储的方法，也可通过公共识别符或者建立一个程序将空间数据与属性数据连接起来。

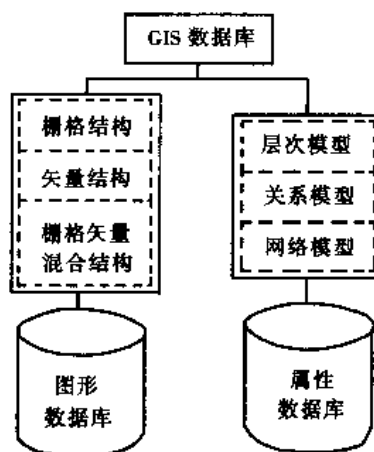


图 1-2 GIS 数据组织管理

3. 应用分析

地理信息系统应用分析是在系统操作运算功能的支持下或建立专门软件来实现的，包括基本空间分析和模型分析，如图 1-3 所示。

GIS 最基本的分析功能有查询、检索、统计和计算功能，这些功能是所有自动化信息系统也具有。空间分析是 GIS 的核心功能，也是 GIS 与其他自动化信息系统的根本区

别，包括叠置分析、缓冲区分析、拓扑空间查询、空间集合分析等。而模型分析是指在 GIS 支持下，应用相应的数学模型分析和解决问题的方法，也是 GIS 应用深化的标志，如最佳网络分析、土地适应性分析和电网潮流分析等。

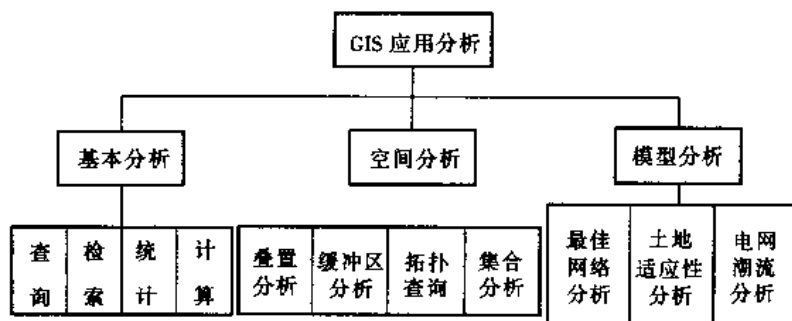


图 1-3 GIS 应用分析

4. 数据显示、结果输出

数据显示是中间处理过程和最终结果的屏幕显示，包括图形数据的数字化与编辑以及操作分析过程的显示；结果输出有专题地图、图表、表格和报告等各种类型的硬拷贝图形，其中屏幕显示也是结果输出的一种。GIS 应能提供一种良好的交互式的制图环境以人机对话方式来选择显示和输出，并能支持多种输出设备，如显示器、绘图仪、打印机、磁盘和光盘等，如图 1-4 所示。

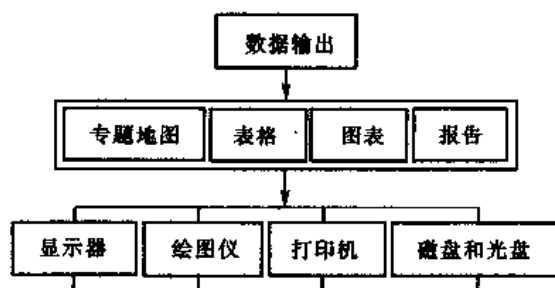


图 1-4 数据显示和结果输出

5. 数据更新

数据总是随着时间变化的，因而 GIS 应具有数据更新功能，才能较真实地反映现实情况，提供准确的决策依据，也可建立地理数据的时间序列，满足动态分析的要求。数据更新即通过删除、修改、再插入等一系列操作以新的数据或记录替换数据文件或数据序列中相对应的数据或记录。但现实中 GIS 的数据更新往往有时滞性，实时通信和 3S（RS、GPS 和

GIS）集成的研究正在努力缩小这种时滞性。

1.2.2 地理信息系统的特点

地理信息系统具备以下基本特点：

1. 统一的地理基础

GIS 之所以区别于一般的信息系统就在于所处理的是地理信息。地理信息需要一个空间定位框架，即共同的地理坐标和平面坐标系统，才能更好地表达信息，从而支持空间问题的处理和决策。因此，GIS 要建立统一的地理基础，包括统一的地理投影、统一的地理坐标系统和统一的地理编码系统。

2. 数据规范化

GIS 的数据来源多, 形式多样, 因而需将数据进行分级、分类、规范化和标准化, 将其纳入一个特定投影和比例的参考坐标系统, 使其适应于计算机的输入输出要求, 便于进行社会经济和自然资源环境要素之间的对比和相互分析。目前许多 GIS 基础软件系统 (如 Arc/Info、Mapinfo) 都提供了多种常见的投影及其相互转换的功能。

3. 多维结构

在通常的二维数据结构中引入第三维 (高程) 和第四维 (时间) 以便为决策部门提供实时显示、多层次分析和动态分析等功能。

4. 空间分析

以地理模型分析方法为手段, 采用各种空间关系运算进行空间分析和多要素综合分析, 能够产生与这些要素相关的、综合的新信息, 为决策提供服务。这是常规方法难以得到的。

5. 预测、模拟

在空间分析的基础上, 采用数字和统计的方法, 通过历史资料和数字模型的建立对事物进行定量分析, 并对事物的未来作出判断和预测, 尤其是对实时信息进行实时动态监测或预测。另外, 还可以通过进行常规或非常规的数字模拟实验 (空间过程演化模拟), 为重大决策提供科学依据。

1.3 地理信息系统的组成



完整的 GIS 一般有五个主要部分组成, 即 GIS 硬件系统、软件系统、地理数据、系统的组织管理人员和开发人员以及计算机网络。其中, 硬软件系统是 GIS 的核心部分, 可谓 GIS 的骨肉; 地理数据库可以用来表达和组织各种地理数据, 也十分重要, 可谓 GIS 的血液; 而 GIS 的管理人员、客户以及开发人员则决定系统的工作方式和信息表达方式; 另外, 计算机网络为实现数据共享、建立网络 GIS 搭起了桥梁。

1. 硬件系统

GIS 的硬件系统包括计算机主机、数据存储设备、数据输入输出设备以及通信传输设备等。

(1) 计算机主机。为 GIS 的核心, 是数据和信息处理、加工和分析的设备。其主要部分由执行程序的中央处理器和主存储器构成, 包括大型机、中型机、小型机、工作站和微机等。

(2) 数据存储设备。包括软盘、硬盘、磁带、光盘、存储网络等及其相应的驱动设备。

(3) 数据输入设备。除键盘、鼠标和通信端口外, 还包括数字化仪、扫描仪、解析和数字摄影测量仪以及全站仪、GPS 接收机等其他测量仪器。

(4) 数据输出设备。主要有图形/图像显示器、矢量/栅格绘图仪、行式/点阵/喷墨/彩色喷墨打印机、激光印字机等设备。

(5) 通信传输设备。即在网络系统中用于数据传输和交换的光缆、电缆及附属设备。其中大多数硬件是计算机技术的通用设备,而有些设备则在 GIS 中得到了广泛应用,如数字化仪和扫描仪等。

2. 软件系统

GIS 软件系统是 GIS 的灵魂,由计算机系统软件、GIS 基础软件、GIS 二次开发软件和其他应用分析程序部分组成。

(1) 计算机系统软件。它是 GIS 日常工作所必需的,包括操作系统、系统库编程语言和库程序等,以及一些标准软件,如图形处理程序、数据库管理系统等。

(2) GIS 基础软件。能够提供给客户进行二次开发的 GIS 基础平台,为 GIS 核心软件,包括数据输入、数据处理、管理、结果显示输出和空间分析等部分。目前市场中主要有 Arc/Info、ArcGIS、MapInfo、MGE、Geomedia、Geostar 和 MapGIS 等商用 GIS 基础软件。

(3) GIS 二次开发软件。指针对不同客户,不同功能需求,不同管理和运作方式,基于 GIS 基础软件平台上的二次开发软件可为实现客户的特定要求提供开发环境(或语言),如 ArcView 的 Avenue 语言、Arc/Info 的 AML 语言、Mapinfo 的 MapBasic 语言等。许多 GIS 基础软件平台还支持用现代高级语言(如 Visual Basic、Visual C++、Java 和 Dephi 等)编程实现 GIS 应用功能。

(4) 其他应用分析程序。是系统开发人员或客户根据地理专题图与区域分析模型编制的用于某种特定应用任务的程序,是系统功能的扩充和延伸,一般可挂靠于原系统。

3. 地理数据

地理数据是 GIS 研究和作用的对象,是指以空间位置为存在和参照的自然、社会 and 人文经济景观数据,包括空间数据和属性数据,可以是图形、图像、文字、表格和数字等。空间数据表达了现实世界经过模型抽象后的实质性内容,即地理空间实体的位置、大小、形状、方向以及拓扑几何关系等;属性数据是与地理实体相关的地理变量和地理意义,是实体的属性描述数据。空间数据和属性数据密切相联,共同构成地理数据库,用于系统的分析、检索、表示和维护。地理数据库的建立和维护是一项非常复杂的工作,技术含量高,投入大,是 GIS 应用项目开展的关键内容之一。

4. 系统开发、管理和使用人员

仅有系统的软硬件和数据还不能构成完整的 GIS,需要人进行系统组织、管理、维护和数据更新、完善功能,并灵活采用地理分析模型提供多种信息,为研究和决策服务。同时还需要整个组织进行全盘规划,协调各部门内部的相关业务,使建立的 GIS 既能适应多方面服务的要求,又能与现有的计算机及其他设备相互补充,同时周密规划 GIS 项目的方案及过程以保证项目的顺利实施。GIS 专业人员是 GIS 应用成功的关键,而强有力的组织则是系统运行的保障。

一个完整的 GIS 项目应包括项目负责人、系统分析设计人员、系统开发人员、系统维护人员、系统管理人员和客户等。其中项目负责人主要负责系统的规划设计、实施、资金预算以及协调项目相关方面的关系等;系统分析设计员负责系统需求分析、功能分析、需求开发的功能规划设计以及应用功能开发方案设计等;系统开发和维护人员负责应用软件

的编程开发和系统的维护工作；系统管理员负责系统软硬件和其他外设的运行、物资管理、客户权限管理和请求支持等；而客户则为系统的最终使用者，包括决策层客户、管理层客户、技术层客户等。

5. 计算机网络

进入 90 年代以来，随着支持多客户网络操作系统的发展，以局域网（Local Area Network, LAN）和广域网（Wide Area Network, WAN）为主的计算机网络系统以及星地一体化的通信网络系统已经形成人类社会信息共享的有效体系。计算机网络利用通信线路将分布在不同地理位置上的具有独立功能的计算机系统或其他智能外设有机的地连接起来，它包含下而三个主要的组成部分：

- (1) 若干台主机。用于向客户提供服务。
- (2) 通信子网。由一些专用的节点交换机和连接这些节点的通信链路组成。
- (3) 一系列协议。这些协议是为在主机之间或主机和子网之间的通信而用的。

计算机网络常见的拓扑结构（连接方式）有星形（Star）、环状（Ring）、总线（Linear OR Bus）和树形（Tree）等。

地理信息系统利用计算机网络技术可以实现空间数据的分布式存储和管理、网络资源的共享、重要数据的转移和备份。利用远程通信技术，还可实现跨国、跨大陆的 GIS 联网，获得更为广泛的共享资源和信息服务。

1.4 空间数据分类与特点

空间数据（Spatial Data）是指在 GIS 中用来表达地理空间信息的各种数据。狭义上，空间数据指的是图形实体数据，是相对于非空间的属性数据而言的；而广义上指的是 GIS 数据，包括图形、图像、属性以及相关多媒体数据等，用于构建 GIS 数据库，作为 GIS 处理分析的对象。

1.4.1 狭义空间数据

狭义空间数据定义了图形和制图特征所处的空间位置，包括对象的空间位置以及空间拓扑关系等信息。在属性数据的支持下，空间数据不再是仅仅具有几何意义的像元或图形，而是具有地理意义的空间实体。通常，可用分类码和识别码来描述某一空间实体。“分类码”是对具有某一特征的实体子集的描述，而“识别码”是对单个实体的识别描述，在系统中必须是惟一的，其表现形式可以是数字的，也可以是文字的。此外，对空间实体的描述还有位置、实体特征、实体角色、行为或功能以及实体的空间特性等。

空间实体可以抽象为点、线、面、体以及组合类等几种基本地形要素。

1. 点状实体

点状实体为 0 维矢量，是一个数据点，用某种维度空间下的惟一的实数对坐标 [二维欧氏空间为 (X, Y) ，三维欧氏空间为 (X, Y, Z)] 来表示，逻辑上不能再分，至少有一个属性；在数学上，点状实体没有大小和方向。点状实体有点（Point）、实体点（Entity

Point)、注记点 (Label Point)、节点 (Node)、角点 (Vertex) 几种类型。城市道路交叉点、电力系统的杆塔、开关、变压器等地理实体均为点状实体。

2. 线状实体

线状实体为一维矢量, 是一个线状要素或空间对象的边界, 用一组离散化实数点对序列 [二维欧氏空间为 $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n)$, 三维欧氏空间为 $(X_1, Y_1, Z_1) (X_2, Y_2, Z_2) \cdots (X_n, Y_n, Z_n)$] 来表示。线的形状决定于坐标对序列的排列顺序, 线上每个点有相同的公共属性并至少存在一个属性。线状实体具有方向 (起始于起始节点, 结束于终止节点), 还具有长度、弯曲度等特征。线状实体包括线段、边界、链、弧段和网络等。河流、道路、地形线、区域边界和地质界线等均为线状实体。

3. 面状实体

面状实体为二维矢量, 是一组闭合弧段所组成的空间区域, 用一组首尾节点相同的离散化实数点对序列 $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n) (X_1, Y_1)$ 来表示。凡是面的内部点可以多于三个邻点, 面内每个点至少具有一个相同属性。面状实体有面积、周长、凹凸性、独立性、包含性、相邻性和重叠性等空间特性。面状实体又称为多边形, 如湖泊、岛屿、植被和行政区划等地理实体均为面状实体。

4. 体状实体

体状实体为三维矢量, 是一组或多组闭合曲面所包围的空间对象, 具有长度、宽度及高度等属性, 还具有体积、周长、断面图和剖面图等空间特性, 如建筑物、三维工业物件等。

5. 组合类实体

组合类实体是点、线、面、体四个基本地形要素的某种组合, 以表示现实世界的各种复杂的自然实体或关系。如不规则楼房、含岛的湖泊、电力线的交叉跨越等。

1.4.2 广义空间数据

广义空间数据, 又称 GIS 数据或地理数据, 主要有以下几种类型。

(1) 几何图形数据。即前述的狭义空间数据, 它来源于各种类型的现有地图 (野外测量地图、手工绘制的草图和其他图件) 和实测几何数据。它不仅反映空间实体的地理位置, 还反映实体间的空间关系 (拓扑关系)。

(2) 影像数据。影像数据主要来源于航空和航天像片、航空和航天数字图像或其他数字形式的遥感影像等。它能较快地、直观地、形象地表达地理现状。

(3) 属性数据。属性数据主要来源于实测数据、几何图形数据的属性描述信息、调查统计数据 (包括社会经济数据)、图例符号以及遥感解译信息等。其空间特征更加隐含 (往往与图形数据密不可分), 是空间数据的重要组成部分。

(4) 地形数据。地形数据主要来源于地形等高线图的数字化、已建立的格网状数字高程模型 (DEM) 或三角网地面模型 (TIN) 等。地形数据能有效地辅助几何图形数据来表达地理现状, 如地形的高低起伏变化情况。

(5) 多媒体数据。多媒体数据主要来源于与地形实体相关的声音、图片、录像和文本

等形式的各种数据，是图形数据的一种补充，可用来丰富和完善地理实体的表达形式。

(6) 其他，如专家知识数据等。

1.4.3 空间数据的特点

空间数据主要具有以下特点：

(1) 空间特征。空间数据的空间特征是指地理实体或现象的空间位置及其相互关系，如大小、形状、位置等几何特征以及相邻实体的拓扑关系。空间数据须用统一的坐标系系统进行空间定位，要求不同坐标系间可相互转换。空间数据用空间拓扑信息来表示空间位置关系。

(2) 属性特征。空间数据的属性特征是指实体或现象的非几何特征，如空间实体的名称、类别、数量等属性。例如一栋房屋的属性可能包括门牌号、单位名称、层数、建筑结构类型和修建时间等。属性数据作为空间数据的重要组成部分，只有同几何图形相结合，才能表达空间实体的全貌。

(3) 时间特征。空间数据的时间特征是指实体的空间特征和属性特征随时间而变化的动态特征，可以同时随时间变化，也可以相互独立随时间变化。例如，行政区界的变更表示空间位置数据的变化，而该区界的人口情况的变化在区界未变更时仅表示属性数据独立随时间变化。空间数据的时间特征说明了 GIS 是一个动态的、复杂的空间管理系统。该特征往往是隐含的，在 GIS 数据表示中加上时间轴会增加空间数据处理的难度和复杂度，因而在一般情况下是将空间数据的时间特征隐含在数据中，用时间属性来表示空间数据的时间特征。

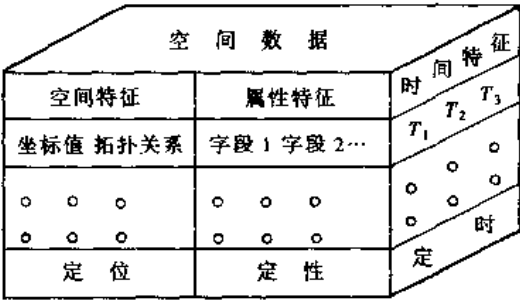


图 1-5 空间数据的特点

空间数据还具有图形、属性数据共存，图形、图像、多媒体数据共存等特点，总之，地理空间数据有着定位、定性、定时的特点，如图 1-5 所示。

1.5 地理信息系统的数据结构

数据结构 (Data Structure) 即数据组织的形式，是适合于计算机存储、管理和处理的数据逻辑结构。对空间数据而言，则是地理实体的空间排列方式和相互关系的抽象描述。

GIS 主要有两种空间数据结构：栅格数据结构和矢量数据结构。前者是将研究区域划分成一系列正方形或矩形栅格 (格子单元) 而形成的，每个栅格或像素的位置由栅格所在的行列号定义，栅格的值为栅格所表达内容的属性值。矢量数据结构是用一系列 X、Y 坐标来描述点、线或多边形要素的组织结构。

1. 栅格数据结构

栅格数据结构实际上就是像元阵列，每个像元由行列号确定它的位置，且具有表示实

体属性的类型或值的编码值。点实体表示为一个像元，线实体则表示为一组相邻像元集合，而面实体由一片相邻像元集合表示。

栅格数据是二维平面上地理数据的离散量化值，例如下述的简单影像：

A	B	B	B
B	B	A	A
A	A	A	B
A	A	B	B

在计算机内是一个 4×4 阶的矩阵，但在外部设备中，没有矩阵存储器，通常是以左上角开始逐行逐列存储，上例的存储顺序为 ABBB BBAA AAAB AAB B，通常是一个文件中存储多层信息，记录每个像元的行列号及其相关信息。像元值一般为整数型。

地理数据一般有较强的相关性，相邻像元的值往往是相同的，因此可以用某种编码对数据进行压缩，如行程编码、变长编码和四叉树编码等（具体编码方法请参阅有关书籍）。以行程编码为例，对于上例有：1A3B，2B2A，3A1B，2A2B。如果行之间不间断编码则有：1A5B5A1B2A2B。显然，编码技术节省了不少空间。数据相关性越强，节省空间越多。

虽然栅格数据结构具有结构简单、易与遥感结合、空间叠置和空间分析易于进行、速度快、有些操作效率高等优点，但也存在许多不足之处，如数据量大、输出不精美、精度低、难以建立地物间的网络拓扑关系等。

2. 矢量数据结构

矢量数据结构直接以取样点坐标为基础，尽可能将目标表示得精确无误，通过记录坐标的方式精确地表示点、线、面实体位置。点实体表示为空间的一个坐标点： (X, Y) ，线实体表示为多个点组成的矢量弧段： $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n)$ ，而面实体则表示为封闭的曲线段（组）： $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n) (X_1, Y_1)$ 。

矢量数据除了记录空间目标的几何位置外，还要考虑与这个目标相关的属性信息以及空间目标之间的相互关系（拓扑关系），以满足空间查询和空间分析的需要。其最突出和最具特色的优点就是能够完全显式地表达节点、弧段、面块之间的所有关联关系。在矢量数据中，用拓扑信息来描述空间的“相邻”、“包含”等关系，从而清楚地表达空间地物之间的结构。另外，根据属性特征的不同，点可用不同的符号、颜色以及大小来表示，线可用不同的样式、颜色以及粗细来描绘，而面则可以填充不同的图案和色彩加以分别。

矢量数据具有较高的空间分辨率，结构紧凑，冗余量小，易于网络拓扑分析且输出精美，但也有不足之处，如结构复杂，不易与遥感结合，信息复合难度大（多边形叠置，空间均值处理）等。

3. 矢量栅格一体化数据结构

矢量和栅格数据结构各有所长，它们之间可以通过一定技术相互转换。现在许多 GIS 软件中，既有栅格结构又有矢量结构，形成一种混合数据结构。但点、线状地物在栅格结构中难以独立表达，往往会与相邻的面状地物发生矛盾，因而限制了它们与栅格影像数据直接交互使用的能力，这就要求一种数据结构，它不是矢量与栅格的简单混合，而是既有矢量特点又有栅格特点的综合数据结构，即矢量栅格一体化结构。

矢量栅格一体化结构本质上是一种以栅格为基础的数据结构。采用细化格网、填满线状目标路径和充满面状目标空间的表示方法,将线用元子填充法表示,若采样点正好落在栅格单元之内,则数据既有矢量特征(X, Y),同时也具有栅格特征,每个面状目标除了周围的 X, Y 坐标外,还记录面状的栅格,所以以栅格为基础,避免了传统不足(精度不够)。

(1) 细分格网。由于栅格的精度低,为了提高精度,需要在有点、线通过的网格内再细分成 256×256 个子网格(又称细分格网),基本栅格和细分格网均采用线性四叉树十进制地址码(Morton码)进行编码。这样一个点位置用两个Morton码表示,第一个表示基本格网中的位置,第二个表示细分格网的Morton码。对于组成线状和面状地物的弧段而言,不仅记录原始采样点的位置,而且记录每条弧段通过每个基本格网边的交叉点,以解决线状目标与栅格数据交互叠置问题。

(2) 点状目标的数据结构。它与矢量拓扑结构相似,使用两个Morton码表示如下:

NODE ID	M_1	M_2	关联弧段
---------	-------	-------	------

M_1, M_2 分别表示基本格网和细分格网中的Morton码。形式上, (M_1, M_2) 类似于 (X, Y) 坐标,当然实质含义迥异。

(3) 弧段的数据结构。它亦与矢量拓扑结构相似,但除了采用Morton码表示位置特征外,还特别强调应记录弧段通过的所有格网。即

ARC ID	起始节点	终止节点	左多边形	右多边形	中间节点(M_1, M_2)
--------	------	------	------	------	--------------------

(4) 面状地物的数据结构。在综合数据结构中,面状地物的数据结构不仅包含了组成该面状地物周边的弧段,而且要包括该面状地物中的面域栅格。这些面域栅格由二维行程编码组织,并且用循环指针将每个面状地物所属的叶节点串起来,然后再建立面状地物的数据结构,即

面块标识号	周边的弧段标识号	中间面域叶节点信息
-------	----------	-----------

矢量栅格一体化数据结构既有矢量特点,精度高,易建立拓扑关系,便于表达实体属性,又有栅格特点,具有整体性的表达能力,易进行叠置分析和易于与遥感影像结合。

1.6 地理信息系统的数据模型



数据模型是数据库系统中关于数据和联系的逻辑组织的形式表示。从GIS数据管理的角度看,数据模型主要是指用来管理和存储空间数据的数据库模型。换句话说,空间数据模型是关于现实世界中空间实体(Spatial Entity)及其相互间联系的概念,是描述空间数据内容以及数据关系的工具。

GIS数据模型不仅要表达和处理空间实体及其相互之间的关系,而且要考虑计算机存储和处理的性能。数据模型的选择对系统的有效性和适用性有很大影响。GIS常用的数据模型有层次数据模型、网络数据模型、关系数据模型和面向对象数据模型。

1. 层次数据模型

层次数据模型采用的是树型数据结构，即将数据组织成一对多的关系，一个父节点对应多个子节点，而一个子节点只对应于一个父节点。在层次模型中，各种数据之间存在一种依次从上而下的层次关系。例如，图 1-6 所示的地图的层次模型如图 1-7 所示。

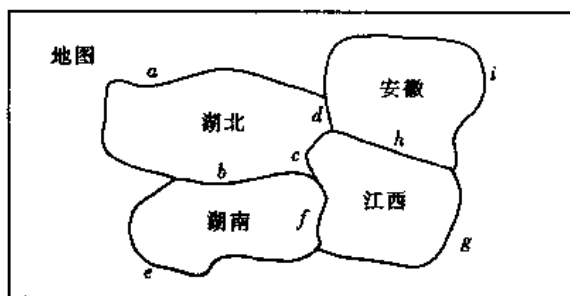


图 1-6 地图

层次数据模型反映了现实世界中实体间的层次关系，层次结构是众多空间对象的自然表达形式，并在一定程度上支持数据的重构。其优点是：结构清晰，易理解，存取方便，速度快，数据修改和数据库扩展较易等；不足之处为：结构呆板，没有灵活性，不能表达多对多关系，数据重复存储，冗余量大，不适合表达数据的拓扑关系。

2. 网络数据模型

网络数据模型采用图数据结构，即将数据组织成多对多关系，且数据之间具有显式的连接关系，但没有明显的层次关系，一个父节点对应多个子节点，一个子节点也可能对应多个父节点。如图 1-8 所示。

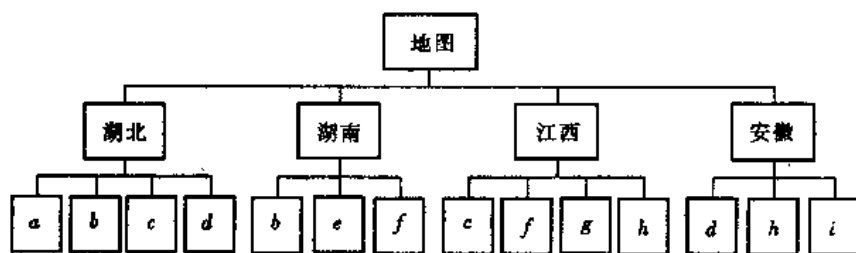


图 1-7 层次数据模型

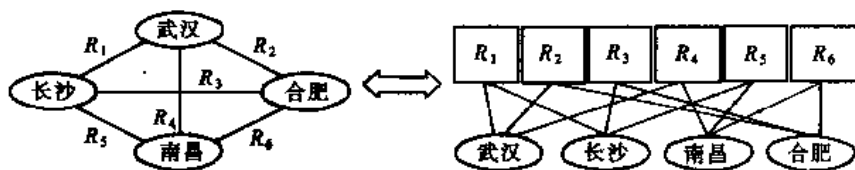


图 1-8 网络数据模型

网络数据模型反映了现实世界中常见的多对多关系（网络拓扑关系），在一定程度上支持数据的重构，具有一定的数据独立性和共享性。其优点是：极大地压缩了数据量，易于表达复杂的拓扑关系；不足之处为：指针数据项使数据量额外有所增加，指针随着数据库中数据的修改而变化，其建立和维护较为麻烦。

3. 关系数据模型

关系数据模型，采用线性表数据结构，即把数据的逻辑结构归结为一定条件的二维表

中的元素，这种表就称为关系。一个实体由若干个关系组成，而关系表的集合就构成了关系模型。图1-6的关系模型如图 1-9 所示。

关系数据模型以简单、灵活的方式表达了现实世界中各种实体及其相互间关系，并支持数据的重构，数据描述具有较强的一致性和独立性。其优点是：数据结构简单、清晰、灵活，能够直接处理多对多的关系；可满足所有用布尔逻辑运算和数学运算规则形成的查询要求；还能搜索、组合和比较不同类型数据；数据的增删改方便，易维护和理解；另外，数据独立性强，便于数据集成。而不足之处为：许多操作要求在文件中顺序查找满足特定条件的数据，当涉及的目标很多时，操作时间长，效率低。

地图	湖北	湖南	江西	安徽
湖北	a	b	c	d
湖南	b	e	f	
江西	c	f	g	h
安徽	d	h	i	

图 1-9 关系数据模型

4. 面向对象数据模型

上述三种数据模型都是以记录为中心的，语义比较贫乏，数据类型少，从而难以表达和处理复杂的空间地理实体，难以实现快速查询和复杂的空间分析，不能很好地面向对象。因而，研究更接近于人类通常的思维方式，便于操作管理空间实体数据的模型，成为GIS研究的重要课题。

面向对象的数据模型就是针对上述三种数据模型的缺点，以接近于人类思维方式设计的，将现实世界的实体都抽象成对象，即将模拟实体状态的数据和操作封装成相对独立的模块，然后进行分类和概括，以人们认识问题的自然方式将所有的对象构建成一个分层结构来描述问题领域中各实体之间的相互关系和相互作用，从而建立起一个比较完整的结构模型，使得对现实世界的构成与人们认识问题的方式直接对应，如图 1-10 所示。

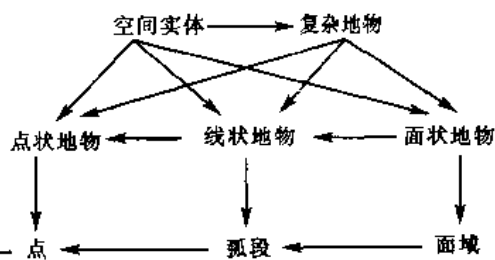


图 1-10 面向对象数据模型

面向对象模型引入人类的概念，即相同对象的集合，允许定义任意复杂的数据类型，模型化真实世界的静态特征，并提供与对象类型相关联的操作，记录对象的动态特征。一个空间实体对应相应类的一个对象。而面向对象的数据模型具有表示和构造复杂对象的能力。其表示自然，易于理解；通过概括、聚集、联合形成“超类”及通过继承形成子类，使面向对象模型更加灵活，增强了系统扩充能力，其封装性则利于子系统的模块化设计。

1.7 空间数据库的组织和管理

地理信息系统数据库主要涉及图形数据和属性数据。如何组织好两者的关系，即图形数据和属性数据的连接，就成了空间数据库组织和管理的核心问题。

单纯选用一种商品化数据模型，如关系数据模型来组织管理图形数据和属性数据并不理想，尤其对于复杂目标的空间数据组织和管理。但是鉴于一些通用数据库管理系统（DBMS）通用性强，在技术方面较为完善，效率高，因此，目前许多 GIS 都是以关系型数据库管理系统（RDBMS）为基础加以扩展来组织管理图形数据和属性数据。

1. 文件与关系数据库混合管理

关系数据库中的记录一般是定长的，空间数据往往是变长的，因而很难表达清楚复杂的空间数据及其关系，另外以单纯的文件形式，数据文件之间又往往不能发生联系，难以有效地组织管理相互关联的图形数据和属性数据，因而采用混合管理方式，分别用两个子系统关联图形数据和属性数据。其中图形数据存储在文件系统中，属性数据存储在关系型数据库中。这样图形数据和属性数据独立管理，通过标识码 OID 联系，如图 1-11 所示。在分析处理目标时分别访问两个子系统，再把它们结合起来得出结论，如图 1-12（a）所示。



图 1-11 图形和属性数据的关联

这种组织方法结构简单、通用性强，但分析处理时需同时查询访问两个子系统，使得查询难以优化，效率较低。另外，数据完整性较差，例如可能会出现图形数据访问中已被删除的目标，其属性数据在属性数据库中还存在，或出现相反的情况。

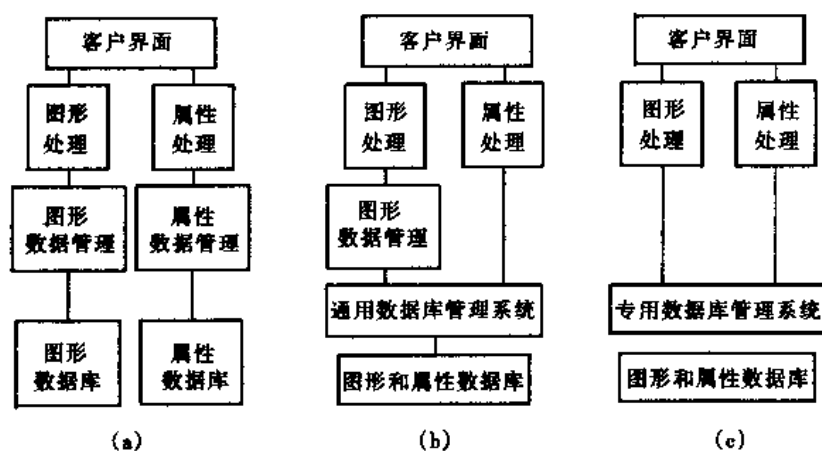


图 1-12 空间数据库的组织和管理

(a) 文件与关系数据库混合管理；

(b) 对象—关系数据库管理；(c) 面向对象空间数据库管理

2. 全关系型数据库管理

这种组织方法也是基于关系型数据库的，只是将一些定长字段扩充为变长字段（现代通用的 RDBMS 已允许变长记录，允许过程直接调用 SQL 语言），用来存储图形数据，从而将图形数据这一变长数据完全交给关系型数据库管理。其特点是查询方便、效率高、数据完整性好，但实现较麻烦、嵌套关系不易表示。

3. 对象—关系数据库管理

这种组织方法是在关系型数据库中引用面向对象机制，形成对象—关系数据库来组织管理图形数据和属性数据，主要有以下两种实现方式：

(1) 在现有关系型数据库的面向记录的数据模型顶层加一层面向对象的数据模型，在此将地理信息查询语言转化为标准的 SQL 查询语言，借助索引数据的辅助关系实现对图形数据的操作。

(2) 修改现有关系型数据库系统，使之支持面向对象，以提供通用的数据库环境，形成对象—关系数据库系统。如图 1-12 (b) 所示。

4. 面向对象空间数据库管理

这种组织方法使用全新的面向对象模型，直接操作图形数据和属性数据，实现图形数据和属性数据的完全统一管理。如图 1-12 (c) 所示。有以下三种实现方式：

(1) 扩充面向对象程序设计语言，增加 DBMS 的特性。其优点是充分利用语言本身功能，易结合 C++ 软件，使用面很广；缺点是没有充分利用 DBMS 功能，仅是将语言进行扩展。

(2) 扩充 DBMS，在 RDBMS 中增加面向对象特性，其优点是利用 RDBMS 功能，可采用面向对象程序设计语言；缺点是数据库的输入/输出 (I/O) 检查费时，完成的操作比单纯的面向对象数据库管理系统 (OODBMS) 慢。

(3) 建立全新的支持面向对象数据模型的 OODBMS。其优点是能开发纯粹的 OODBMS，操作效率高，重视计算完整性，非过程查询；缺点是开发量大、复杂。

1.8 地理信息系统与其他系统的集成

1.8.1 GIS 的系统集成与技术集成

从学科和技术的角度看，地理信息系统是一门集多学科和技术于一体的新型交叉边缘学科，同时也是多学科集成并应用于多领域的新兴技术。目前，GIS 集成很大一部分体现在与其他系统的集成上。

系统集成是采用一定结构形式，通过某种技术并利用其内在联系将多个系统有机结合



图 1-13 GIS 集成

在一起的。集成系统的整体功能不只是各系统功能之和，而应当通过系统的渗透和融合使整体功能和效能远大于各系统功能和效能的简单之和。系统集成的低级阶段往往是通过相互调用一些功能来实现的，而高级阶段则是直接共同作用，形成有机的一体化系统。系统集成将计算机软硬件、网络、应用开发技术和客户需求等结合起来，形成完善的应用工程，既是经验技术的结合，同时也体现着一种系统、现实、面向应用的工程设计思想。

从技术观点看，GIS 集成的实质是 GIS 承袭了各相关系统在相应的专业领域内的专门技术优势与相关模型的技术融合，而并不是这些技术的简单相互包容。目前得到普遍重视的 3S 集成（GIS 与 GPS 和 RS 的结合）和 5S 集成（GIS 与 GPS、RS、DPS、ES 的结合）的观点代表了 GIS 集成的重要发展方向。由 5S 集成所构成的系统将是高度自动化、实时化

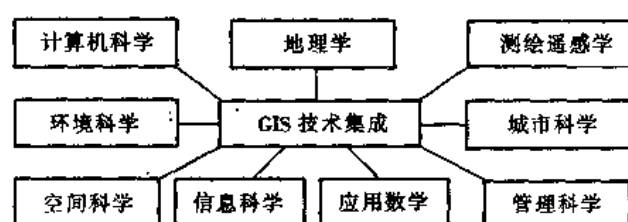


图 1-14 GIS 学科层和技术层集成

和智能化的系统。它不仅具有自动、实时采集、处理和更新数据的能力，而且能对数据进行智能分析，因而，从广义上讲，GIS 集成是以 GIS 为核心的各学科和技术的有机结合。如图 1-13 所示。

作为一门边缘学科，GIS 吸收了各类学科的技术精华，有着强大的生命力和广阔的发展前景。GIS 广泛应用了如网络技术、多媒体技术、数据库技术、空间处理和分析技术等先进技术；然而从 GIS 内涵来说，GIS 集成又是由各类学科和技术综合而成的。如图 1-14 所示。

1.8.2 GIS 的信息集成

GIS 在各种领域内的广泛应用，使得 GIS 信息的外延大大扩展。特别在属性数据方面，其表现形式不仅仅为表格形式，而且也有各种媒体形式的数据。在当前的 GIS 中，空间地物通常被分解为实体和其属性的模式，客户通过空间和非空间属性来联合识别地物，从这个角度而言，GIS 表现出了各种必要信息的集成性特点。对 GIS 信息集成模式的选择，往往影响着整个系统的开发方法和数据库的建设。

GIS 信息集成的内容主要包括以下两方面：

(1) 不同形式信息的集成。对空间信息而言，从数据结构的角度分为矢量数据和栅格数据，按表现形式可分为点、线、面和注记；对属性数据来讲，信息呈现出文本、图片、动画、声音等多媒体形式。GIS 根据具体的实际要求，对各种信息实现有效的集成，而非简单罗列。

(2) 实体中同一目标多种表示的集成。对同一空间目标，从不同角度，就会有不同的表现形式。例如，城市在各种地图上的表示方法，在全国地图上，以“点”的形式代表城市，在市区图上，以面的形式代表城市；再如一条道路在强调长度时，用中心线来表示，在强调面积时，以面来表示。可见，空间实体具有多角度、多侧面的特性。

信息集成的目的就是按客户的需求将空间对象的各种信息有机组织起来，有效、客观地反映空间对象。

1.8.3 集成系统中的数据交换与转换

在 GIS 集成系统中,各系统都有其自身的特点,同时也存在一些不足,只有利用其他应用软件的长处,弥补自身的不足,将两者集成在一起,才能开发出一个实用的 GIS 应用系统。如何将这此不同软件的优点结合起来,即集成在一个环境中,必须解决不同应用程序间的数据交换问题。

目前大部分应用软件都在 Windows 环境下运行。Windows 为在其下运行的应用程序提供了多种数据交换方式。

1. 文件传递

这是最原始的数据交换方法,由于数据交换的媒介是外部存储器(硬盘、软盘或光盘),因此,无论是从传输的速度、可靠性,还是从传输媒介的善后处理来说都是非常不理想的。

2. 裁剪板传递

裁剪板是 Windows 在内存中开辟的一片公共区域,用于应用程序间的数据共享和交换。裁剪板是一个临时信息存储区域,需要客户直接参与数据传输的初始化和完成工作。

3. 动态链接库(DLL)

动态链接库也可以作为应用程序共享数据的存储器。一个应用程序将要传输的数据存储于动态链接库的数据段中,由另一个应用程序对该数据段进行访问以完成数据的传递。

4. 动态数据交换(DDE)

动态数据交换是 Windows 应用程序间进行数据交换的一个协议。DDE 使程序之间的剪切动作变为自动化,提供了一个快速数据更新的通道,它最适合不需要客户参与的动态数据交换。DDE 交换速度快(媒介是内存)且不影响操作系统的整体性和正常运行。

5. 目标链接与嵌入(OLE)

目标链接与嵌入实际上是建立在 DDE 消息基础上的更高层的应用程序间的通信机制。与其他方式不同,它摆脱了以应用程序为中心的处理观点,发展出以文本为中心的处理观点。链接和嵌入的文本可以包含多种不同类型的数据(复合文本)。

1.8.4 GIS 集成途径

1. GIS 和 MIS 集成

目前,空间数据库和非空间数据库往往是异构的。在集中式 GIS 中,常以文件方式管理空间数据,但难以用这种方式管理大量复杂的非空间数据,而 MIS 并没有处理空间数据的能力。因而,寻求一种技术将各系统进行有机结合,实现高效的空问数据与非空间数据的相关处理成为一种必然。

GIS 和 MIS 的集成分为功能集成和信息集成两种模式,也相应地体现为两个层次的集成度。

(1) 功能集成模式。在功能集成模式中,系统在统一的客户界面上实现 GIS 和 MIS 功能的交叉和渗透,但两者在数据处理上是分离的,系统集成度低。在这种情况下,空间数

据库和属性数据库仍然是异构的，系统对它们的访问方式也有所不同，通常是分作两个不同处理模块，GIS 模块访问和处理空间数据库，MIS 处理模块访问和处理非空间数据库，再通过关键字进行互联，实现两者的互访，从而在一个统一界面上实现 GIS 和 MIS 的功能集成。如图 1-15 (a) 所示。

(2) 信息集成模式。在信息集成模式中，GIS 和 MIS 在数据上已完全融合成一个整体，由数据库管理系统 (DBMS) 统一管理，并且在保留各自专有功能的基础上，定义对数据处理的公共功能集合，达到较高层次的集成，如图 1-15 (b) 所示。在这种情况下，可以在保留以文件方式管理空间数据和关系数据库管理系统管理非空间数据相结合的基础上，做如下处理：

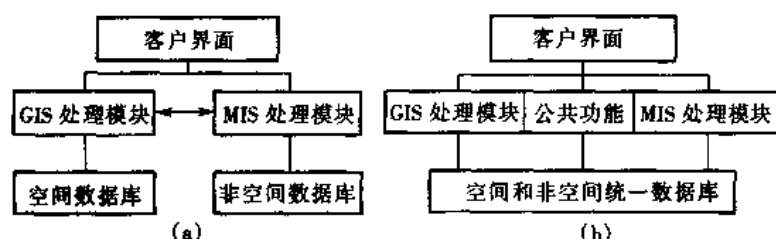


图 1-15 两种系统集成模式的实现方式

(a) 功能集成；(b) 信息集成

- 1) 开发面向对象数据库管理系统 (OODBMS) 来管理空间数据。
- 2) 在关系数据库管理系统 (RDBMS) 上扩展空间数据管理功能或模块，如 Oracle 公司的 SDO (Spatial Data Option) 和 Informix 公司的 SDB (Spatial Data Blade)。
- 3) 在应用程序和数据库管理系统间建立一个中间件 (Middleware)。

2. GIS 和 RS 集成

GIS 和 RS (遥感) 是独立发展起来的支撑现代地学的空间技术。其中 RS 是空间数据采集和分类的有效工具。它们的研究对象是空间实体，两者关系密切，具有互补性。GIS 与 RS 的集成主要表现在：RS 作为获取和更新空间数据的有力手段为 GIS 动态地提供和更新各种数据，而 GIS 作为空间数据处理分析的技术工具，可以提高 RS 的空间数据分析能力和分析精度。

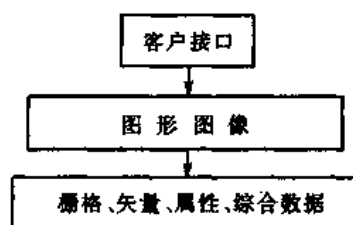


图 1-16 GIS 与 RS 集成途径

GIS 与 RS 通常有三种集成途径，也体现了三种不同层次的集成度。如图 1-16 所示。

(1) 采用软件接口方式。这种方式经济、现实，其实质是解决 GIS 和 RS 之间的数据转换、数据传递和数据配准问题，即实现矢量数据和栅格数据的相互转换；空间图形数据在系统之间的传递以及图像数据和 GIS 数字地图的几何配准问题。通常是在 GIS 中扩充 RS 图像处理功能，如 MGE、Arc/Info 等大型商用化 GIS 中都加入了图像分析处理功能。

(2) 发展一种标准的空间数据交换格式，作为 GIS 与 RS 之间以及不同类型 GIS 之间相互转换的中间核心标准，如美国空间数据交换标准 SDTS (Spatial Data Transfer Standard)。

这种方式利于空间数据的共享,也有利于不同空间信息系统的结合。

(3) GIS 和 RS 相结合形成一个完整系统,实现两者的真正集成。这就要求设计出更有效的数据结构、模型及空间数据管理系统,即能对矢量数据和栅格数据进行协调管理,实现空间数据的综合查询及模型分析。

3. GIS 和 GPS 集成

GIS 与 GPS (全球定位系统) 的集成,可以取长补短使各自的功能得到充分发挥,并且还能产生许多更高级的功能。通常, GIS 可使 GPS 的定位信息在电子地图上得到实时、准确、形象地反映,而 GPS 可为 GIS 及时采集、更新或修正数据,还可以利用 GPS 提供的定位功能和 GIS 的电子地图及最佳路径分析功能,寻求到达目标的最佳路径等。

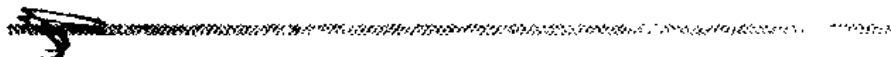
通常是在 GIS 中扩充 GPS 功能来实现两者集成,如 MapInfo 中就扩展了 GPS 的功能。

4. GIS 和 DSS 集成

决策支持系统 (Decision Support System, DSS) 就是要结合各种数据、信息、知识、人工智能和建模技术,辅助高级决策者解决半结构化或非结构化决策问题,而 GIS 具有空间分析优势,可以为管理和规划提供决策信息,因而,将 GIS 和 DSS 集成发展为基于空间数据库的决策支持系统很有必要。

空间决策支持系统 (Spatial Decision Support System, SDSS) 是用来帮助决策者解决复杂空间问题的,通常是在一般 GIS 的功能 (DBMS、图形显示、报表等功能) 的基础上,扩展分析建模功能和决策者的专家知识等功能来实现 GIS 和 DSS 的有机结合。

1.9 地理信息系统在电力系统中的应用



地理信息系统作为支持空间定位信息、数字化获取、管理和应用的技术体系,随着计算机技术、空间技术和现代信息基础设施的飞速发展,在国家信息化进程中的重要性与日俱增。特别是当今“数字地球”、“数字电力”及相关概念的提出 (如“数字中国”、“数字城市”等),使得人们对 GIS 的重要性有了更深的了解。

GIS 在电力系统中的应用主要体现在发电、输变电、配电和电力营销等各重要环节,其地域分布广泛、涉及的设备量庞大、设备设施更改频繁。从实际情况看,电网的各种信息与空间地理环境有着密切联系,利用 GIS 技术管理和处理这些信息,对于提高电力系统生产效率、管理质量和科学决策水平具有十分重要的现实意义。

1. 在发电 (电厂) 中的应用

电厂的生产管理高度集中统一,整套管理体系是按电力生产特定的规律而建,并逐步发展、健全。根据电厂管理的需要,基于 GIS 的电厂信息管理系统可以从以下两方面提供各种信息服务:

(1) 实现类似 MIS 的管理功能。通过建立统一、高效的信息网络,能够及时、准确地收集、传输、处理和反馈各项生产、经营、管理过程中产生的信息,实现全厂范围内的数据共享,为生产、经营管理提供现代化的管理手段和科学的决策支持。例如,人事管理、工资管理、社会保障管理、生产计划管理、生产统计管理、综合统计分析管理、发电事务

管理等。

(2) 实现面向图形信息的管理功能。对于电厂的各种管线、设备、厂房、科室、人员等涉及地理位置的空间信息实施管理,结合多媒体信息的应用,可在充分保证信息处理的实时性前提下,使系统更具动态可伸缩性、开放性、可扩充性和移植性。例如,生产实时查询、安全监督管理、在线设备管理、机助实时查询、机助能耗分析实时查询、工作票管理等。

2. 在输变电工程中的应用

GIS 在输变电工程中具有广大的客户市场,其客户群主要包括输变电工程的系统规划、勘测设计、施工建设和电网运行管理部门中的各级决策、管理和技术人员。从输变电线路的规划、设计到施工,一般需要 5~10 年的时间,而投入运行后的维护和管理是一个更长的过程。在这一过程的不同时段里,将涉及成百上千公里线型延长区域内的空间图形及相关的属性数据(如地形地貌、地质、水文、建筑物、输电线路、杆塔等)。它们往往是时空宽广的海量数据,如何进行数据的采集和处理是一项复杂度高的技术工作,需要专门的设备和技术辅以实现。

输变电 GIS 是地理信息系统技术在输变电工程管理方面的实用型系统,是在地理背景图上对输变电区域内的各种地理信息以及各种杆塔参数、电力设备设施等进行综合分析和管理的系统,以辅助电网的规划、设计、施工、运行管理和科学决策。

(1) 规划管理。规划部门在基础地形数据库和相关的专题数据库基础上,可利用 GIS 进行线路或电网的规划,并初步统计该线路的各种经济、技术指标,从而确定选线的可行性。同时可对工程费用作初步预算,以便向勘测和设计部门提供经济合理的线路路径方案。

(2) 工程设计。在规划成果的基础上,进一步完善空间数据库,形成以三维地面模型为载体的各种专业的详细数据库,使设计部门能实时方便地获取丰富、详细的定量和定性数据,从而有助于进行选线和自动排位,并将设计数据入库。依据设计成果,最后可向投资方提供各种准确可靠的经济技术指标,向施工部门提供各种详细的施工数据和施工环境数据。

(3) 工程施工。在施工阶段,可以准确、快速地从设计成果中获取有关设计数据、交通状况等指标,并可进行工程的监督,把握施工进度。同时还可以及时地对施工阶段的数据进行采集、编辑、入库,直接为电网的运行维护和管理提供支持。

(4) 运行维护。由于系统中已经建立了基于实际地理位置的电网空间数据库(如线路走向图、杆塔分布图、交叉跨越等)和属性数据库以及相关的技术资料,因此在运行维护阶段,可以依据这些实际数据和电网运行的数据(如电流、电压),进行各种管理和分析,为电网调度和决策提供服务。例如,输变电设备与线路档案管理、线路地理走向图管理、设备运行管理、线路实时潮流分析、故障测距、能量管理、雷电定位、检修管理、两票管理、备件库存管理、缺陷管理等。

3. 在配电系统中的应用

配电系统是电力系统实现优化供电,实现将电能合理分配并供给电力客户的重要环

节。配电网是当前和未来电网建设的热点，无论是大型或中小型城市、农村都把配电网规划、建设和改造列入工作重点。随着配电网建设改造的实施，配电网越来越复杂，同时电力企业的体制改革也要求电力企业必须加强管理提高效益，必须及时响应客户需求提高售电量。因此，依靠过去传统的人工管理或者传统的信息管理技术，已经不能适应电力企业管理需要，由此利用 GIS 技术实现配电系统管理应运而生。它是一个利用地理信息系统技术，结合配电网管理实际，对配电网的配电设备（如配电变压器、开闭所、配电线路、杆塔等设备）进行综合管理的系统，可以将 AM/FM 所提供的准确的、最新的设备信息和空间信息与配电网实时运行状态信息有机地结合起来，有效地改进电力分配和紧急情况下的调度以及用于日常维护与抢修服务等，提高调度员与设备维护人员了解系统情况与处理故障的能力。GIS 的引入使得网络拓扑和配电网信息更直观、更便于运行管理。

GIS 在配电网中的应用主要体现在以下几方面。

(1) 设备管理。可为运行管理人员提供配电设备的运行状态数据及设备固有信息等，为配电系统状态检修和设备检修提供参考依据。它主要包括：

1) 对馈线（线路）进行统一管理，提供对馈线的查询、统计，拉闸停电分析及属性条件查询等功能。

2) 按属性进行统计和管理，如在指定范围内对馈线的长度统计，对变压器和客户容量的统计管理，继电保护（或熔丝）定值管理以及各种不同规格设备的分类统计等。

3) 对所有的设备进行图形和属性指标的录入、编辑、查询、定位等。在地理位置接线图上，对任意台区或线路的运行工况和设备进行统计和分析。

4) 能描述配电网的实际走向和布置，并能反映各个变电站的一次主接线图。

(2) 配电网规划及辅助设计。利用地理信息处理技术，可结合区域行政规划及电力负荷预测，辅助配电网规划与设计，有效地减轻规划与设计人员工作量，提高配电网规划设计的效率和科学性，还可为管理人员方便及时地掌握配网建设、客户分布和设备运行的完整情况，以及科学管理与决策提供及时可靠的平台支持。配电网规划与辅助设计的主要功能有：

1) 杆塔定位设计；

2) 架空线和电缆选线设计；

3) 变压器、高压客户（大用户）、断路器、变电站（所）及各类附属设施等的定位设计。

(3) 电网拓扑。

1) 可进行自动绘图，并在拓扑网络图中能反映整个电网的实时信息（线路的阻抗、节点的电压、线路的功率信息等）；

2) 将遥测、遥信的实时数据以图形方式显示；

3) 可实现停电管理、调度挂牌、事故处理、运行监视及 Web 查询等功能；

4) 可实现图形与数据交叉查询，设备定位，可查询任一变电站配电室及高压客户的一次接线图，实现地形图、一次接线图、整个网络分布图的相互切换。

(4) 电网分析。

1) 可通过与 SCADA 系统的动态链接, 反映实时信息; 编制或自动生成地理位置接线图; 显示 SCADA 实时数据; 在地理接线图上实现网络拓扑着色;

2) 通过与 SCADA 系统接口, 实现实时潮流和网络线损计算, 为网络优化提供科学依据;

3) 负荷管理: 在地理接线图上, 对任意台区或线路的负荷进行统计和分析;

4) 高级应用功能还包括状态估计、负荷预测、配网重构、短路电流分析、无功优化及降损决策;

5) 可以提供理论线损和统计线损的计算模型, 供供电企业随时进行某一线路的线损分析或全网统计线损, 掌握线路损耗情况, 为配网规划和改造提供理论依据;

6) 能进行配网监视和拓扑分析, 提供短路电流计算、无功优化、短期负荷预测等功能;

7) 对线路故障、故障停电等自动作出即时分析和处理, 进行故障定位与隔离、恢复供电, 显示停电和恢复区域, 并根据电网的变化即时显示电网的各种信息等等;

8) 能为状态检修提供有益的参考数据, 使调度部门快速准确地判断各种故障, 及时安排检修;

9) 供电部门可根据运行方式的变化进行相应的运行方式模拟, 供电方案的决策以及实时电价的通告及电价预测。

(5) 客户投诉电话管理 (故障报修)。可将客户的故障投诉请求及处理情况直观地反映在 GIS 上, 便于指挥人员及时了解故障产生原因和台区客户的相关信息以及准确、快速地制定抢修方案。

(6) 客户管理。对台区客户信息进行管理, 如客户数量及其分布、客户名称、用电地址、用电性质、用电量、最大负荷等。

4. 在电力客户服务系统中的应用

用电是电力系统建设的最后环节, 也是最终目标。随着我国电力系统逐步市场化和电力能源紧张局面的进一步缓解, 传统的用电管理模式已满足不了当前客户对电力需求的急剧增长。用电管理是非常复杂的电力负荷及客户业务管理工作, 业务流程繁杂, 传递环节过多, 信息处理量大。提高用电管理工作效率、管理质量、客户服务质量及自动化水平的惟一途径是借助于现代信息处理技术和先进的管理模式, 使客户服务管理系统化、制度化、规范化和自动化, 真正实现用电管理“一口对外”、“业务一条龙”、“无纸化作业”。

作为供电企业信息系统的一个重要组成部分, 客户服务系统不仅要具有强大的内部业务处理功能 (如业扩报装、计量资产、计量业务、用电监察、自动抄表、电费计算和收费及综合查询、信息汇总及统计等), 还必须具有一定的智能, 如自动配表、最佳供电方案选取、自动计量抄表等。同时还应满足数据共享要求, 以实现为各级领导和决策部门提供全面详实的用电基本信息, 并从供电企业其他信息系统中提取有用信息, 如自动计量抄表数据、配电设备参数及地理空间信息等。

利用 GIS 技术实现客户服务现代化、信息化具有独到的优势。除了能完成常规的业务处理功能, 最重要的在于它可以在电子地图上实现更直观、有效的表现形式和空间查询分

析等功能。主要表现在以下几个方面：

(1) 客户定位查询。按照客户证号、地址码（全地址码，楼房号，平房区号）进行全图查询，自动定位，并将目标突出显示、渲染。

(2) 电能计量辅助管理。

计量资产管理：计量资产的分布图和相关指标的管理，如设备购置与录入、资产编号、领表、退表、自动修校管理及仓库管理等。

计量业务管理：根据客户的地理分布进行装表、定换管理、故障表计处理等。

(3) 区域查询。根据地图上所选的任意区域，查询数据库中的客户信息。

(4) 电费收费管理。过去由于收费清单不能按实际地理环境分区片打印，因此某一收费区打印的收费表中的客户中大多数不是有遗漏就是包含了区外的客户，或因地址不详给收费工作造成很大的麻烦。采用 GIS 可逐一对客户进行地址编码，从而可结束客户分布在不同区域交叉混乱的局面，提高了客户收费的可管理性。

(5) 区域统计。根据全局、分区或地图上指定区域，统计总户数、电量、收费率，提供直方图、饼图、曲线图等；根据指定的户数、电量、收费率等数值关系，搜索符合条件的区域，并渲染突出。

(6) 用电监察。根据在地理图上显示的电网运行图，及时掌握用电情况，可有效监察安全用电、节约用电、违章窃电及负荷等状况。

综上所述，GIS 在电力企业的应用是全方位和多角度的。因此，电力地理信息系统就是利用地理信息系统处理技术，结合电力系统的运行、维护、管理和电能营销、客户服务等科学技术，实现电力企业的电网安全运行、维护、管理和经营活动正常运转的一门综合或者交叉的学科与技术。它是包括 AM/FM/GIS (Automation Mapping/Facility Management/GIS) 向地理空间资源管理 (Geospatial Resource Management, GRM) 的综合技术，是未来电力系统信息化发展的重要方向之一。

5. 目前电力 GIS 在我国供电企业的应用现状

地理信息系统在我国电力行业的应用起步较晚，而且主要围绕供电企业应用，但近几年发展很快。目前，北京、西安、武汉、兰州、上海、重庆、广州、绍兴等地供电企业相应开展了电力地理信息系统项目建设，有的项目已经进入初步实用化阶段，有的在进行了 20 世纪 90 年代中后期的试点工作后，又陆续向全方位应用发展。所建系统已从过去的主要应用集中在配电系统管理功能方面，向输电系统、客户服务系统、客户管理系统、用电营业系统、配电管理系统以及地理信息系统和 EMS/SCADA、配电自动化系统相结合的综合应用发展。一些发电企业也陆续开展了地理信息系统在发电企业中的应用开发。开发平台过去主要选择国外成熟的地理信息平台，如 Arc/info、Mapinfo 等。近年来一些国产的地理信息平台也逐渐成熟，还产生了一些集配电自动化、配电地理信息系统与高级智能配电分析的一体化应用软件，如陕西银河电力自动化股份有限公司的 GEA-DAS/GIS/PAS 系统。

目前，在我国电力企业所建的地理信息系统存在的问题，主要表现在以下三个方面：

(1) 总体规划或设计方案不全面。电力行业的地理信息系统开发实施应紧密结合电力

企业生产管理、经营管理、客户服务的需要,对这些应用需求最了解的应该是电力企业中从事生产管理、经营管理、客户服务的领导和技术人员。但由于这些人员平时工作紧张,很难抽时间学习或接受地理信息系统知识培训。因此,总体规划或设计方案往往采用外包形式,而外包的公司对电力企业知识的匮乏,使得总体规划或设计方案深度不到位,或者应用覆盖不全,系统性差,为今后系统的实施带来了许多困难,有些总体规划或设计方案形同虚设。要解决好这一问题必须强调“一把手原则”和“发展与技术滚动原则”,重视项目机构建设及人力资源、资金等配置。

(2) 地理信息系统运行所需要的基础数据不全。目前一些系统虽然在功能设计和开发中表现良好,但许多系统实际是一个演示功能系统,离真的实用化还有不少差距。分析其原因主要是系统运行所需要的基础数据未建立起来,系统需要的基础数据需要长期的建立才能完善,同时数据的及时更新是系统正常运行的基础。没有完整、正确的基础数据,就没有系统正确的执行结果。基础数据主要包括:地图数据、设备数据、电网地理接线数据、设备位置数据、用户分布数据等等。

(3) 一体化数据图模解决方案未能解决好地理信息系统与 EMS/SCADA、配电网自动化系统等生产运行自动化系统的数据图模共享问题。目前在一些供电企业项目中,解决这个问题采用的技术方法基本是中间件或数据转发方法。采用这种技术方法的优点是减少了数据库系统的设计和实施工作量,以及不同系统之间软件开发、调试工作和技术的沟通。但存在不同系统之间的数据、图形的不一致性隐患。

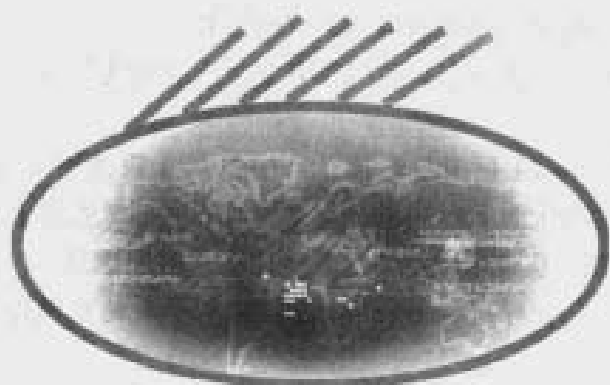
从当前一些供电企业所开发和应用的地理信息系统的过程来看,供电企业的地理信息系统应用侧重于配电系统应用。这是由于配电网设备众多、分布广阔、配电网变化快、配电网的生产运行维护与客户服务的耦合度强等因素。配电地理信息系统建设的难点一般体现在以下几方面。

(1) 配电网的资料和数据的整理输入工作量巨大,并且配电网又随着城市建设发展经常处于变动中,引起了配电网设备分布数据不稳定、地理图形变化大,必然造成系统中数据更新或者维护工作多次反复。

(2) 电力企业对于地理信息系统建设的长期规划及投资估计不足,同时企业无二次开发能力,会造成许多项目建成后难于发挥其巨大作用。因此,在项目建设时,应在人力资源配置、资金投入、系统应用功能分析与设计等方面统筹规划,而不流于形式。

(3) 电力地理信息系统与 EMS/SCADA、配电网自动化、电力营销信息系统等企业信息系统的信息集成难度大。其原因是,各个不同的系统源于不同的开发商,各开发商在各系统实现时为了各自利益封闭对外接口或者提供的接口简单等。

因此,开发和建设好电力地理信息系统,必须做到地理信息系统技术、计算机技术与电力生产运行管理及维护管理、客户服务管理、生产过程自动化系统等之间紧密结合,必须领导重视、企业技术人员深入参与,才能使系统真正发挥效能。



2

全球定位系统

全球定位系统是美国国防部为了彻底解决其海上、空中和陆地客户的定位及导航问题而建立的新一代卫星定位系统。全球定位系统简称 GPS，是英文 Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System 的字头缩写，意为“导航卫星授时与测距/全球定位系统”。作为一种可以定时和测距的空间交会定点的导航系统，GPS 不仅具有全球性、全天候、连续的精密三维导航能力以及毫微秒级的时间测量精度，还具有高度的保密性和良好的抗干扰能力。它的建立从根本上解决了人类在地球上的导航定位问题，并被广泛地应用到各个领域。除了在军事上可以为军用目标提供精密导航，用于情报收集、应急通信等以外，还被广泛地应用于资源勘察、城市规划、航空与卫星遥感、天文学以及运动目标的测速等领域。近年来，GPS 在电力系统的应用也逐步进入实用阶段。

2.1 GPS 定位技术的发展及特点



人类自古以来就开始了对于陆地和海上的导航定位研究。1957 年 10 月世界上第一颗人造地球卫星的成功发射，标志着人类空间科学技术的发展进入了一个崭新的阶段。与此同时，人造卫星的出现引起了各国军事部门的高度重视。美国海军于 1958 年开始研制一种军用舰艇卫星导航服务系统，即海军导航卫星系统（Navy Navigation Satellite System—NNSS），亦称“子午卫星系统”。该系统于 1964 年建成，不久后部分导航电文被解密提供民用。由于该系统定位精度相对较高（单点定位精度可以达到 3~5m，相对定位精度约为 1m）并且不受天气条件的影响，很快受到人们的重视。但是，由于该系统具有卫星数目较少、卫星轨道高度较低、定位时间较慢等缺点，其应用受到很大的限制。

美国国防部于 1973 年开始组织陆海空三军，共同研究建立新一代卫星导航系统，即现在的全球定位系统计划。该系统的建立过程大致经过了最初的方案论证和初步设计阶段（1973~1979 年）、随后的全面研制和实验阶段（1979~1989 年）以及最后的实验组网阶段（1989~1993 年）。从 GPS 的提出到 1993 年的建成，历时 20 多年时间，耗资 300 多亿美

元,是美国政府继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的第三大空间计划。

与子午卫星导航系统及其他导航系统相比,全球定位系统具有十分明显的优越性。主要表现在以下几个方面:

(1) 覆盖范围广泛。GPS 空间星座部分由 24 颗卫星组成,其中包括 3 颗备用卫星。卫星的轨道分布合理,使地球上任何地方在绝大多数时间里都可以同时观测到 4 颗以上的卫星,从而使全球范围内的 GPS 客户能够随时获得三维空间位置、速度及时间信息。

(2) 定位、测速及测时所需时间短。利用全球定位系统进行导航可以实时地获得运动目标的三维位置、速度等信息。

(3) 精度高。①定位方面,单台接收机利用 P 码定位可以达到 5~10m 精度,在 2000 年 5 月美国政府取消 SA (Selective Availability—选择可用性) 政策后利用 C/A 码定位精度亦可达到 20~40m; 两台以上的接收机利用码差分进行相对定位精度可以达到分米级,而利用载波相位差分进行相对定位则可以达到厘米级以上的精度。②测速方面,利用 C/A 码测速精度可以达到 0.3 m/s。③测时方面,利用 C/A 码可以达到 500ns 以上的时间测量精度。

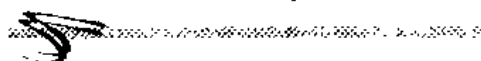
(4) 操作方便。随着 GPS 定位技术的不断发展, GPS 接收机逐步实现高度自动化、小型化、功能多样化。在操作过程中接收机自动完成对卫星信号的接收和相关信息处理,不需要较多的人工干预,从而减小了劳动强度,提高了劳动效率。

(5) 全天候作业。由于目前 GPS 卫星的轨道分布及 GPS 信号的接收不受气候条件的影响,故 GPS 观测可以在昼夜的任何时刻进行,并且不受阴雨雾雪等恶劣天气的影响。

(6) 应用范围广泛。由于 GPS 具有的上述特点及功能多样性, GPS 的应用范围十分广阔,涉及国民经济建设的各个方面。

总之, GPS 定位系统的建立,是 20 世纪最重大的科技成就之一,也是当今世界导航技术现代化的重要标志。

2.2 GPS 的组成



整个 GPS 定位系统主要由三个部分组成: ①空间星座部分 (GPS 卫星); ②地面监控部分 (若干地面监控站); ③拥有接收机的客户部分。三个部分各自独立而又相互联系成为一个有机的整体。

2.2.1 空间星座部分

由覆盖全球范围的 GPS 卫星组成。到目前为止, GPS 卫星共设计了三代,分别为 Block I (第一代)、Block II 和 Block II A (第二代)、Block III 和 Block III R (第三代) 型。1978~1985 年,共发射了 11 颗第一代实验卫星,这些实验卫星设计寿命为 5 年,分布在两个轨道面内,卫星运行轨道呈圆形,倾角约为 64° ,长半轴约为 26560 km,平均轨道高度约为 20000km,目前已停止工作。Block II、Block II A 在 1988~1994 年期间发射完毕,共发射了 28 颗。第三代 GPS 卫星于 90 年代后期开始发射,用以在 Block II 型卫星的基础上

改善全球定位系统。表 2-1 为 GPS 工作卫星的有关情况。

表 2-1 GPS 工作卫星的有关情况 (截止日期: 2000 年 12 月)

卫星类型	卫星 PRN 编号	发射时间	启用时间	所在轨道面	频率标准
Block II	02	1989. 6. 10	1989. 8. 10	B3	Cs
	19	1989. 10. 21	1989. 11. 23	A5	Cs
	17	1989. 12. 11	1990. 1. 6	D3	Cs
	21	1990. 8. 2	1990. 8. 22	E2	Cs
	15	1990. 10. 1	1990. 10. 15	D5	Cs
Block II A	23	1990. 11. 26	1990. 12. 10	E4	Cs
	24	1991. 7. 4	1991. 8. 30	D1	Cs
	25	1992. 2. 23	1992. 3. 24	A2	Cs
	26	1992. 7. 7	1992. 7. 23	F2	Rb
	27	1992. 9. 9	1992. 9. 30	A4	Cs
	01	1992. 11. 22	1992. 12. 11	F4	Cs
	29	1992. 12. 18	1993. 1. 5	F1	Rb
	22	1993. 2. 3	1993. 4. 4	B1	Rb
	31	1993. 3. 30	1993. 4. 13	C3	Cs
	07	1993. 5. 13	1993. 6. 12	C4	Rb
	09	1993. 6. 26	1993. 7. 21	A1	Cs
	05	1993. 8. 30	1993. 9. 28	B4	Cs
	04	1993. 10. 26	1993. 11. 22	D4	Rb
	06	1994. 3. 10	1994. 3. 28	C1	Cs
	03	1996. 3. 28	1996. 4. 9	C2	Cs
	10	1996. 7. 16	1996. 8. 15	E3	Cs
	30	1996. 9. 12	1996. 10. 1	B2	Cs
	08	1997. 11. 6	1997. 12. 18	A3	Rb
Block II R	13	1997. 7. 23	1998. 1. 31	F5	Rb
	11	1999. 10. 7	2000. 1. 3	D2	Rb
	20	2000. 5. 11	2000. 6. 1	E1	Rb
	28	2000. 7. 16	2000. 8. 17	B5	Rb
	14	2000. 11. 10	2000. 12. 10	F1	Rb

注 频率标准: Cs 为铯原子钟, Rb 为铷原子钟。

目前 GPS 工作卫星为 24 颗 (其中 3 颗备用卫星), 分布在 6 个轨道面内, 平均每个轨道面 4 颗卫星, 轨道倾角为 55° , 长半轴为 26609 km, 各轨道平面之间相距 60° , 平均轨道高度约为 20200 km, 运行周期为 11h58min (恒星时 12h)。GPS 工作卫星星座情况如图 2-1 所示。

相对于地面观测者来说, 每天提前 4min 见到同一颗 GPS 卫星。每颗卫星每天约有 5h 在地平线以上, 同时位于观测者所在地区的地平线上的卫星数目随时间和地点而异, 最少能观测到 4 颗, 最多则可观测到 11 颗, 这样保证了全球绝大多数地区的全天候、高精度、连续实时的导航定位。应该指出的是, 由于 GPS 的卫星分布, 对于一些地区可能在某一段短时间内只能观测到 4 颗几何图形分布较差的卫星组合, 从而对导航定位精度造成影响。

GPS 卫星在轨重量约为 843kg, 采用铝蜂巢结构, 主体呈圆柱形, 直径约为 1.5m。卫星结构如图 2-2 所示。星体两侧设有两块双叶对日定向太阳能电池板, 对日定向系统可以

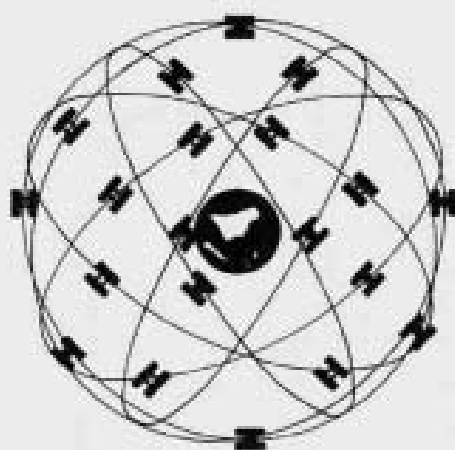


图 2-1 GPS 工作卫星星座示意图

控制两翼的太阳能板转动，使板面始终对准太阳，以保证卫星的正常工作用电。此外，GPS 卫星上还装有通信系统、姿态控制系统以及轨道控制系统等。卫星设计寿命为 7.5 年。

卫星的编号通常采用 PRN（卫星所采用的伪随机噪声码）编号方式。其他编号方式还有：顺序编号（按卫星发射时间的先后次序进行编号）；NASA 编号（美国航空航天局对 GPS 卫星的编号）；IRON 编号（内部距离操作码编号）；国际编号（其中第一部分表示卫星的发射年代，第二部分表示该年中发射卫星的序列号，字母 A 表示发射的有效负荷）；以及按轨道位置顺序编号等。

GPS 卫星的核心部件包括：4 台高精度原子钟（2 台铯原子钟和 2 台铷原子钟）、导航电文存储器、双频发射接收系统以及微处理器等。由于 GPS 定位采用被动定位原理，高稳定度的频率标准是 GPS 精密定位的关键，而 GPS 卫星这种高稳定度的频率标准又是靠高度精确的原子钟提供的。正式发射的 GPS 卫星上采用了铯钟作为频率标准，其频率稳定度达 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 。以后的 GPS 工作卫星将采用频率稳定度更高的氢原子钟作为频率标准，其频率稳定度可以达到 10^{-15} 。

GPS 卫星的基准信号频率 f_0 为 10.23MHz。每颗 GPS 卫星以 L_1 、 L_2 两个频率发射无线电载波信号，分别如下：

$$L_1 = 154f_0 = 1575.42\text{MHz}, \text{ 波长 } \lambda_1 = 19.03\text{cm}$$

$$L_2 = 120f_0 = 1227.60\text{MHz}, \text{ 波长 } \lambda_2 = 24.42\text{cm}$$

采用两个不同载波频率的主要作用是测出或消除电离层效应带来的误差影响。

L_1 和 L_2 载波上含有两种不同精度的测距码： L_1 上的 C/A 码（又称粗码）和 P 码（又称精码）以及 L_2 载波上的 P 码，分别提供不同精度的服务。对于未经美国政府特许的大多数客户，只能获取 L_1 上的 C/A 码来进行较低精度的导航定位服务，其单点精度约为 20 ~ 40m，这类服务成为标准定位服务；而对于美国军事客户以及经过美国政府特许的客户，则可以获取 L_1 和 L_2 载波上的 P 码来进行较高精度的导航定位服务，其单点精度约为 5 ~ 10m。

GPS 卫星的基本功能有：

(1) 接收和储存地面监控站发来的导航电文及其他有关信息、指令，并向地面客户转发。

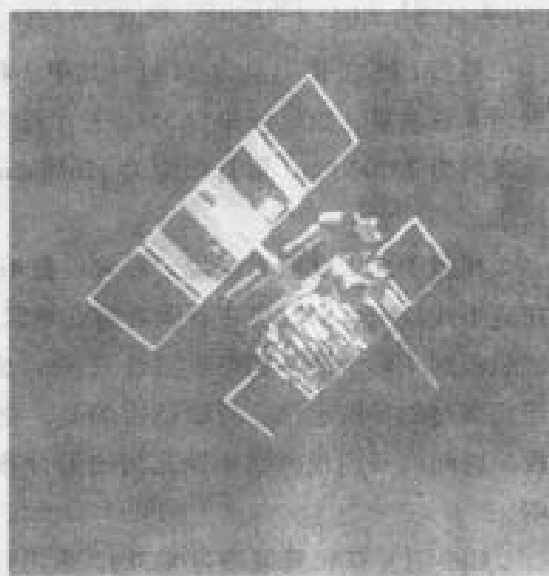


图 2-2 GPS 卫星构造示意图

(2) 用两个频率向客户发送 L_1 和 L_2 载波、C/A 码及 P 码，为地面 GPS 客户提供导航定位服务。

(3) 通过卫星上的高精度的原子钟（铯钟或铷钟）为地面客户提供精密的时间基准。

(4) 通过星载微处理器进行一些必要的数据处理。

(5) 接收监控站的有关调度指令，根据需要调整卫星运行状态或启动备用卫星。

2.2.2 地面监控部分

在 GPS 的定位导航过程中，是将 GPS 卫星作为空间位置不断变化的动态已知点，而卫星的位置则是由地面监控系统计算并提供给卫星。地面监控部分的主要作用是通过监控系统实现对 GPS 工作卫星的监控，并将导航电文等有关信息注入到 GPS 卫星。它包括监控站、主控站以及注入站三个部分。

地面监控站共 5 个，分别位于美国本土的科罗拉多州（Colorado Springs）和夏威夷（Hawaii）、太平洋的卡瓦迦兰（Kwajalein）、大西洋的阿松森岛（Ascension）以及印度洋的迭戈迦西亚（Diego Garcia）。这些监控站的主要任务是向主控站提供 GPS 卫星的观测数据。每个监控站装备有 GPS 接收机，每天连续不断地对 GPS 卫星进行观测，同时采集气象元素等数据并监测卫星的工作状况。监控站是无人值守的数据采集中心，在主控站的控制下自动对观测数据进行初步处理并定时将数据发送给主控站。

主控站设在美国的科罗拉多州。任务是协调、管理 5 个地面监控站以及空间运行 GPS 卫星的正常工作。具体内容如下：

(1) 收集本站和各监测站的观测资料，据此计算出每颗 GPS 卫星的星历、卫星钟差、大气改正数和卫星的健康状况等，编制成导航电文传送给各注入站。

(2) 监测地面监控系统的工作是否正常。

(3) 调整卫星的运行轨道，必要时启动备用卫星代替已失效的工作卫星。

3 个注入站分别设在卡瓦迦兰、阿松森岛以及迭戈迦西亚，主要任务是将主控站编制的导航电文、卫星星历、卫星钟差和其他指令注入到相应的 GPS 卫星。

2.2.3 客户部分

GPS 客户部分包括 GPS 接收机硬件和相关数据处理软件等。GPS 接收机随着客户进行导航定位的用途的不同可以分为导航型接收机和大地型接收机两大类。客户必须通过 GPS 接收机才能实现其导航定位的目的。

GPS 接收机的任务是：按照客户设定的参数要求（如卫星截止高度角、观测历元间隔、最小 PDOP 值等）接收和跟踪卫星信号，对 GPS 卫星发送的导航电文进行解码，根据测量得到的 GPS 信号——从卫星到接收机的传播时间，计算出接收机的三维坐标、三维速度及接收机与卫星钟之间的钟差。

大地型接收机除完成上述任务外，还可按一定的时间间隔存储记录相应时刻的载波相位观测值及伪距等。图 2-3 为应用接收机进行野外大地测量的情景。



图 2-3 应用接收机进行野外
大地测量的情景

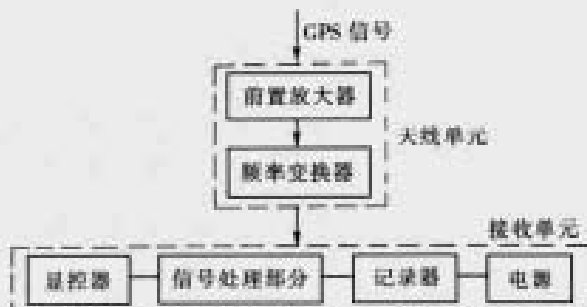


图 2-4 GPS 接收机结构示意图

GPS 接收机的硬件结构包括天线单元和接收单元两大部分，如图 2-4 所示。

近年来 GPS 接收机的发展十分迅速，各类型的接收机体积越来越小、重量越来越轻，而功能则越来越多样化，应用范围也更加广泛。目前世界上有数十家企业生产的数百种不同型号的 GPS 接收机。国外著名的 GPS 生产厂家有美国的 TRIMBLE、ASHTech、JAVAD、AOA、瑞士的 LEICA、加拿大的 NOVATEL 等。近年来国内一些企业也开始生产 GPS 接收机，这些厂家大多同时生产大地型和导航型 GPS 接收机。对于大地型接收机，双频接收机精度大多为 $5\text{mm} + 1\text{ppm} \times D$ (D 为基线长度，以下同)，单频接收机精度大多为 $10\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$ ；对于导航型接收机，精度大多为 $20 \sim 40\text{m}$ ，采用差分技术则可以达到亚米级定位精度。随着 GPS 技术的应用和发展，GPS 接收机的价格的逐步降低，可以预见在不久的将来，小型、便携式的 GPS 接收机将进入寻常百姓家，为人们的日常生活带来方便。

2.3 其他卫星定位系统

GPS 是由美国军方研制和操纵的，其本质上是一种军事系统。世界上其他各国对 GPS 的使用也是有限的。而现代卫星导航技术的发展已使其成为十分重要的空间信息系统，在信息现代化的过程中起着越来越重要的作用。因此，世界发达国家都在努力发展自己的卫星导航定位系统，以满足各种军事和民间的信息需要。下面就其他卫星定位系统，如 GLONASS、NAVSAT、GNSS 等作简要的介绍。

2.3.1 GLONASS 卫星导航系统

相似于 GPS 卫星导航系统，前苏联在 20 世纪 80 年代开始着手研制自己的卫星导航系统，即全球导航卫星系统——Global Navigation Satellite System (GLONASS)，并于 1982 年 10

月发射了第一颗 GLONASS 卫星。20 世纪 90 年代初苏联解体后由俄罗斯继续进行余下的工作，1996 年 1 月完成了整个 GLONASS 系统 24 颗工作卫星加 1 颗备用卫星的布局和调整，使系统投入正常运行。

GLONASS 系统的组成和工作原理类似于 GPS。24 颗工作卫星分布在三个倾角为 64.8° 的椭圆轨道面内，卫星高度和运行周期与 GPS 卫星接近（有关情况参见表 2-2）。GLONASS 卫星采用铯钟作为频率标准。每颗 GLONASS 卫星发射 L_1 、 L_2 两种载波信号，其中 L_1 提供民用，而军事客户可使用 L_1 、 L_2 两种频率。

表 2-2 GPS、GLONASS、NAVASAT 三种卫星定位系统特点

系统名称	卫星数目	轨道面数	轨道倾角 ($^\circ$)	运行周期	卫星平均高度 (km)	L_1 载波频率 (MHz)	L_2 载波频率 (MHz)
GPS	21+3	6	55	11h, 58m	20200	1575.42	1227.60
GLONASS	21+3	3	64.8	11h, 15m	19100	1602 ~ 1616	1246 ~ 1256
NAVASAT	12+6	7	63.45	12h, 00m	20178	1561 ~ 1569	1224 ~ 1232

GLONASS 系统导航定位精度平面约为 50 ~ 70m，垂直方向约为 75m；测速精度 15cm/s；授时精度为 $1\mu\text{s}$ 。与 GPS 不同的是，GLONASS 系统没有 SA（选择可用性）限制。由于 GLONASS 所具有的这一特点，一些厂家开发出 GPS + GLONASS 双系统接收机，可同时接收 GPS 和 GLONASS 信号。这样，客户能够接收到的卫星数目几乎增加了 1 倍，从而改善了观测卫星的几何分布，在高楼林立的城市和绿叶覆盖的森林中都更容易开展卫星导航和定位。此外，客户不再仅仅依赖 GPS 和 GLONASS 中的某一个系统，提高了客户定位的安全可靠性及定位精度。

2.3.2 NAVASAT 导航卫星系统

NAVASAT 是欧洲空间局（European Space Agency—ESA）组建的以民用为主的卫星定位系统。该系统由 6 颗地球同步卫星和 12 颗高椭圆轨道卫星组成。6 颗地球同步卫星处于同一轨道面内，12 颗高椭圆轨道卫星分布于 6 个轨道面内。根据这种分布，地球上任何地方在任何时刻都可以见到 4 颗以上的 NAVASAT 卫星，从而达到全球、全天候的实时导航定位。

2.3.3 GNSS 系统

GNSS 系统的前身是 1992 年投入的由 4 颗覆盖全球的卫星组成的 INMARSAT 通信和导航定位系统，是国际民航组织推出的全球性的位置和时间测定系统。

GNSS 包括一个或几个卫星星座、系统完好性监视系统和机载接收机。2000 年前建成由 GPS + GLONASS + INMARSAT + GAIT + RAIM 组成的混合系统。其中，GAIT 为地面增强和完好性监视系统，RAIM 为机载独立完善监视系统。

计划于 2000 年后建成纯民用 GNSS 系统。其中包括 30 颗中高圆轨道卫星和 6 ~ 8 颗双用静止卫星。该系统建成后，不仅具有导航定位能力，还具有全球卫星移动通信能力。

2.4 GPS 在电力系统中的应用

由于 GPS 技术在空间定位和时间测量方面的高精度、高效率特性, 各行业均对 GPS 的定位及精确时间特点开展了广泛的应用研究, 电力系统也不例外。随着电力自动化技术的发展, 针对 GPS 在电力系统的应用研究已逐步达到实用阶段, 并在很多地区和部门取得了显著的成效。以下对这些应用情况作一简单介绍。

2.4.1 GPS 在电力线路布设中的应用

由于 GPS 在工程测量中的优越性, 目前 GPS 定位技术已逐步取代常规的测量技术而成为电力工程测量的主要测量手段。对于电力线路控制测量, 在通常情况下, 采用 GPS 测量比常规的测距仪、经纬仪手段提高效率 50% 以上。作业中, 可以采用 GPS 静态相对定位模式或快速静态定位模式, 对于边长在 10km 以内的基线, 通常观测 10 ~ 30min 即可满足精度要求。但需要注意的是, 由于电力工程测量大多布测线状 GPS 网, 因此通常需要 3 个以上在测区四周分布均匀的高等级已知点作为 GPS 网的起算点, 以加强对整个 GPS 网的约束条件。除此之外, 同步环之间还应尽可能采用重复边连接方式以加强 GPS 网的图形结构强度。图 2-5 所示为某测区电力线路 GPS 网布测图。

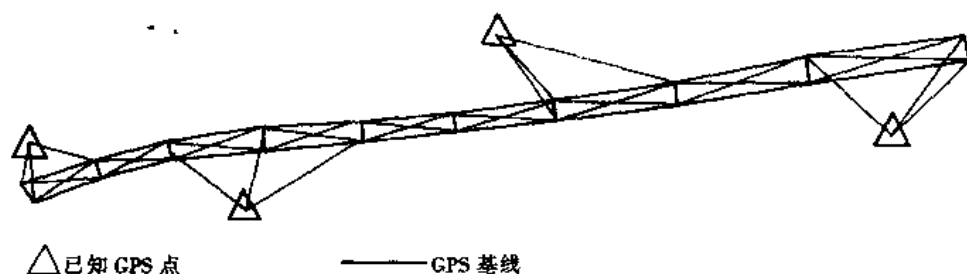


图 2-5 某测区电力线路 GPS 网布测图

2.4.2 选线、定线

可以利用 GPS 进行架空线路的电力选线和定线。架空送电线路中的定线方法所用仪器经历了普通经纬仪、全站仪、GPS 三个阶段。传统的选定线方法一般采用导线法, 在初测阶段沿设计线路布设初测导线。该导线既是各专业开展勘测的控制基础, 也是进行地形测量的首级控制, 所以要求相邻导线点通视。利用 GPS 进行选定线就可以解决这些问题, 在线路测量中应用 GPS 技术的形式是沿设计线路建立狭带状控制网。目前主要有两种情况, 一种是应用 GPS 定位技术替代导线测量; 一种是应用 GPS 定位技术加密国家控制点或建立首级控制网。下面重点介绍第一种方法——利用 GPS 选、定线的方法。

(1) 首先用 GPS-RTK 的先进技术进行选线, 定出线路转角位置坐标并钉立转角桩或由设计人员直接指定转角位置后钉立转角桩, 同时用 GPS-RTK 测定转角点三维坐标。然后定义两转角桩的连线为直线, 利用 GPS-RTK 的放样功能直接放样出直线桩, 得到各直

线桩的三维坐标。据此由内业计算出桩间距离、高差和转角值。

(2) 由于利用 GPS—RTK 技术进行定线, 不要求桩间通视, 所以可以快速、正确地完成直线桩的放样和测定工作。然而由于目前尚不能直接利用 GPS—RTK 技术来完成平断面的测绘工作, 因此仅钉立直线桩是很不够的, 它不便于断面组全面复核直线、桩间距离和高差的测量, 特别在出现前后均不通视的孤立直线桩时, 因缺少定向点而使断面组无法在此直线桩上直接施测平断面图。所以在不通视的直线桩间仍应敷设一条旁导线, 并用 GPS—RTK 技术测出旁导线各点的三维坐标, 计算出旁导线的边长和夹角, 这样断面组就可全面、快速、正确地完成复核直线, 桩间距离和高差工作, 也便于断面组加快施测平断面图, 既确保了 GPS—RTK 的定线质量, 又保证了平断面图的质量。

(3) 由于用 GPS—RTK 放样出的直线桩的三维坐标是根据基站直接测定的, 各点的三维坐标相对独立, 不会造成误差的累积和传递 (各点均只与基站相联系), 所以在外界因素影响下所产生的粗差也仅对一点而言, 但不会传递到下一点, 然而这种粗差不能在现场和内业中发现。为了确保 GPS—RTK 技术定线的质量, 消除粗差, 断面组一定要进行全面复核直线、桩间距离和高差。当查出粗差的点后, 只要用 GPS—RTK 技术重新放样该点即可纠正其粗差, 不会像经纬仪定线那样影响到一个耐张段。此时断面组只要不在含有粗差的点上设站或作定向点, 就可以按实测距离、高差对相邻桩间距离进行调正后, 继续施测平断面图, 不影响工程进度, 纠错工作可放在后面进行。

(4) 在应用 GPS—RTK 技术进行测量时要选好基站。基站应选择在施测段中间; 选在反射系数小的地方, 如选在灌木丛、草地和其他植被能较好地吸收微波信号、能量反射很弱的地方; 应避免将基站设在大面积的平静水面、山坡和高层建筑群中。在施测过程中要克服多路径反射, 因为它是 GPS 信号传播误差中一项极为重要的误差。一定要注意接收信号的强弱、卫星图形强度等问题。在作业中一定要重视仪器所提示的信息。如出现有可能的问题提示信息时, 要慎重对待, 因为此时是最有可能产生粗差的时候, 遇此情况不能勉强通过观测, 最好是再重新观测一次, 这样可以避免粗差的产生。

(5) 本法可真正实现单人作业 (看基站等辅助用工除外)。当然在间接定线较多时以人工作业为好, 这样一人操作 GPS, 一人可以选旁导线点和辅助立天线, 可以加快工程进度。

2.4.3 故障测距

目前世界各国的故障测距技术均以测量故障行波到达母线观察点之间的时间, 利用两端母线测量行波到达时间之差, 或测量行波往返一次所需时间来测量距离。早期的行波测距装置有 A、B、C 三种型式, 可靠性均不甚理想。现代微电子技术的发展已提供许多可靠手段, 其中精确时间源可以由 GPS 来提供。最简单的表示是故障点到测量点之间的距离, 用行波传输到两端测得的时间差可直接算出故障发生点。

2.4.4 系统运行功角实时监测

若能实时同步测得系统两端电压之间相位差, 则可监视两端运行电气相角, 对系统稳

定运行有现实意义。GPS 接收机每台之间时间误差为 $1\mu\text{s}$ (电气角度为 0.018° , 50Hz), 完全可满足电力工业控制调节的需要。利用通信手段将两端测量结果传送到调度控制中心, 则可作为运行判据并以此建立调节控制的手段。

2.4.5 电网调度自动化同步时钟

电网调度自动化要求主站端与远方终端 (RTU) 的时钟同步。当前大多数系统仍采用硬件通过信道对时, 主站发校时命令给远方终端对时硬件来完成对时功能。软件对时不能满足开关动作时间分辨率毫秒级的要求。用硬件对时可达到分辨率在毫秒级, 但对时硬件复杂, 并且对时期间完全占用信道。当发生遥信变位时, 主站主机 CPU 还要做变位时间计算, 占用 CPU 的开销。利用 GPS 的定时信号可克服上述缺点, GPS 接收机的时间码输出接口为 RS232C 及并行口, 客户可任选串行或并行方式, 还有一个秒脉冲输出接口 (1PPS), 输出接口可根据需要选用。

2.4.6 故障录波器时间同步

目前, 微机故障录波器均有机内标准时间环节。由于时间元件自身误差和不同型号的录波器时间元件差异, 往往造成各站故障录波器在故障时记录时间差异较大, 对分析系统事故带来不便。而 GPS 技术可以获得高可靠性及高精度的秒脉冲 (1PPS) 及通过串口输出时间。在 SA 生效时, 定时精度实用上可达 $0.5\mu\text{s}$ 。用 GPS 来不断修正原来录波器时间元件, 可使全系统故障录波器时间同步。

2.4.7 雷电定位系统

大地落雷是可以探测到的, 利用设置不同地理位置的探测站, 测量探测站获得雷电信号的时间差。由于每个站只能确定雷电信号源的方位, 因此用 3 个以上站的测量结果就可以计算出落雷位置。当然, 必须知道探测站的地理位置精确的经、纬度和电力杆塔或设备的地理位置, 而且要有统一的精确时间源。各探测站信息传到处理中心进行雷电定位, 精度可达不大于 1 km。

2.4.8 自动控制与调节的标准时钟

利用 GPS 技术可提供自动化中需要的精确同步时钟, 可制作出精确的守时钟, GPS 守时钟综合精度可优于 $0.5\mu\text{s}$ 。

随着导航定位、军事、测绘、车船定位及应急引导等领域 GPS 的成功应用, 以及 GPS 在电力工业中的应用, 推广此项技术, 发展我们的自动化系统, 其前景十分广阔。

2.4.9 电力抢修车导航与定位

电力抢修车是供电企业实现对客户快速服务的尖刀。在客户发生用电故障时, 客户服务中心可通过各个电力抢修车 GPS 发出的位置信息, 及时调度就近电力抢修车去消除客户用电故障, 提高客户响应速度。

在电网发生故障或者事故时，及时、合理、快速调度抢修车辆赶到事故现场，对减少事故停电时间、满足客户服务要求、多供电量是十分必要的。利用 GPS 和配电 GIS 相结合技术是解决问题的有效途径。

1. 系统组成

整个 GPS 电网抢修车辆调度系统可以分成四个部分：车载移动单元、差分通信基站、移动工作站和抢修调度中心，如图 2-6 所示。

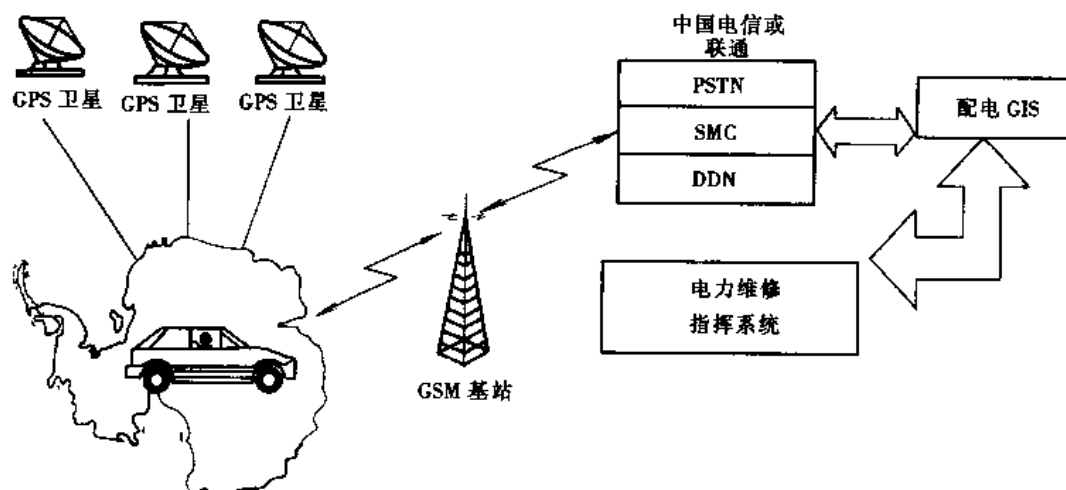


图 2-6 抢修车辆定位与调度系统构成示意图

(1) 车载移动单元（GSM /GPS 基本车载台）。GSM 系统车载设备包括：GPS 接收机、GPS 天线、GSM 收/发模块、收/发天线、控制器、红外线遥控器、方向盘拨号器、无线遥控器、麦克风和状态显示器等。

(2) 差分通信基站。为提高定位精度，必须采用差分技术实现小于 5m 的定位要求。它是抢修调度中心与所有移动单元进行通信联络的枢纽。差分基站负责收发通信信息，接收移动单元经 GSM 短消息服务中心信息传来的信息，并把信息送到调度中心；发送调度中心向移动单元发布的信息。基站放置在抢修调度中心。基站通信覆盖范围也是由基站的功率、天馈系统所决定，不同厂家产品工作范围有所不同。

GSM 短信服务中心，包括 GSM 交换机、GSM 短信服务器、无线网关、系统服务器及中心系统管理和数据库处理软件等。GSM 短消息服务可以利用中国电信或联通，差分基站与短消息服务中心的连接可以通过 DDN 专线连接或纯粹短消息方式。

(3) 抢修调度中心。抢修调度中心则是主要由以配电 GIS 为基础的监视和控制操作平台构成。中心可以直接从 GSM 网取得所有车辆的相关信息，经过相应软件处理，再显示在配电 GIS 上，并且可以发出指令经过 GSM 网传递给车辆，实现调度、控制等。GPS/GSM 系统调度中心计算机网络系统由 GPS 数据前置机、服务器、GIS 地图操作终端、通信服务器及相关应用软件组成。

(4) 便携机。当收到故障信息，除迅速定位故障情况外，通过软件实现在抢修调度中心的 GIS 工作站上下载所需地区电网地理信息到便携机上。到工作现场后，实现 GPS 定位

信息在便携机上反映显示，以帮助现场工作人员及时进一步了解工作任务、周围环境等信息；也可输入维修工作情况，以便回到单位，通过网络向配电 GIS 上传工作信息。

2. 系统功能

(1) GSM /GPS 基本车载台：

- 1) 实时定位功能，并将 GPS 定位及报警信息发往调度中心（有差分功能）。
- 2) 接收调度中心主台发送来的差分信号，完成定位位置数据的校正功能，提高定位精度。
- 3) 可随时被指挥调度中心调度，监控。
- 4) 有汉字显示功能。
- 5) 防盗功能，在车辆遇到偷盗时进行，具有单键触发报警功能，简便迅速，报警及时。
- 6) 报紧功能：在车辆遇到紧急情况，车载设备可发出报警后，向监控中心发送自身的数据，同时车载设备电源开关自锁。在解除报警后，车载设备电源开关恢复正常。
- 7) 将车辆编号、状态编码、车控标志与定位信息等数据打包、数据压缩，发回监控中心。

(2) 抢修调度中心：

1) 调度管理功能：抢修调度中心可以主动、及时了解抢修车辆的地理位置及其他如电网抢修进展情况等信息，车辆信息自动标注到电子地图上，因此可以指导车辆选择最佳路径行驶。结合城市交通实时系统，还可以对车辆驾驶员进行引路功能。若车辆超出调度范围，也可获得车辆的经纬度信息。

2) 信息查询功能：显示监控车辆的最新状态，包括抢修车辆目标编号、移动车辆目标的组号、目标编号、时间、速度、经度、纬度、代码状态等信息，监控移动车辆目标的连续轨迹显示和隐藏。

3) 可设定重点车辆跟踪、运行情况查询、所有车辆（监控目标）的信息查询。

4) 车载电话功能：由于本系统融合了 GSM 技术，所以安装本系统的机动车都配备车载 GSM 数字电话。在 GPS 报警定位工作的同时，GSM 数字电话还可正常进行通话，也可启动把现场声音传回调度中心。

5) 紧急呼救功能：机动车在发生紧急情况时，系统可手工启动或自动激活报警装置，并发出呼救信号。文字、声光提示监控中心操作员车辆报警，调度中心或车主收到报警并了解详细信息后迅速做出反映，并采取相应的措施，同时还可采取系统的监听、遥控熄火、锁车门等功能辅助处理突发事件。

6) 车载自导功能：机动车驾驶室内安装终端及电子地图（GIS）后可实现车辆自导，全国漫游功能。

7) 紧急求救功能：机动车在发生紧急情况时，系统可手工启动或自动激活报警装置。

8) 常用地图工具、地图编辑功能：可显示、编辑地图中所关心的重点单位的相关信息。

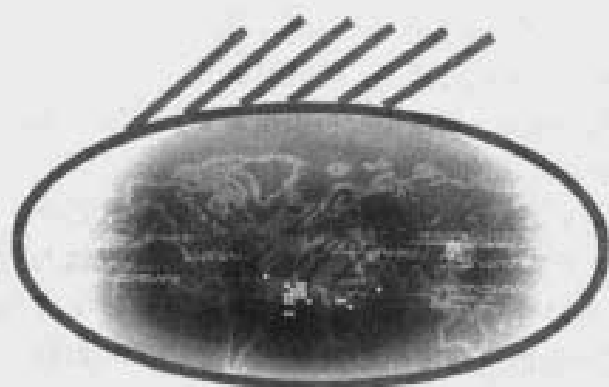
9) 为用户提供输入、编辑车辆目标信息的功能，提供相应的用户界面；授权用户可

通过电话或浏览 Internet 的查询调度中心的自动记录和保存的车辆动态信息。

10) 运行情况报表, 抢修车出车、到达现场及事故处理完成的时间统计。

11) 远程监控防盗功能: 中心具有绝对的控制权, 调度中心可根据需要, 采取一定的必要手段 (如熄火, 追踪) 使被盗抢车难以逃出系统控制范围。

(3) 便携机。便携机上下载了包括作业区的地理信息, 并且与移动单元的 GPS 系统连接, 接收定位消息。可帮助外业抢修人员及时了解本地情况, 也可将任务完成情况输入便携机, 以便回单位后及时联网上传数据, 使电网管理人员及时了解电网故障抢修完成情况。另外, 需和 GPS 商家共同商议解决便携机向抢修调度中心发送短消息、反映抢修工作完成要点信息等功能。



3

数字摄影测量系统

数字摄影测量系统是地理信息系统获取地形地貌数据的基础和重要手段。本章着重论述数字摄影测量系统的基本概念、组成和功能、一些常见产品介绍以及在电力系统的应用等内容。

3.1 数字摄影测量系统概述

实现数字影像自动测图的系统称为数字摄影测量系统（DPS——Digital Photogrammetric System）或数字摄影测量工作站（DPW——Digital Photogrammetric Workstation）。这种系统是对数字化了的影像，借助计算机，通过数字相关技术建立数字地面模型，形成线划等高线及正射影像地图等。

随着计算机技术、数字图像处理、模式识别、人工智能、专家系统以及计算机视觉等学科和技术的不断发展，有着悠久历史的摄影测量学从模拟摄影测量开始，经过解析摄影测量阶段，正向数字摄影测量阶段发展。

对数字摄影测量的定义，目前在世界上主要有两种观点：

其一认为数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理，应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论与方法，提取所摄对象并用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。这种定义在美国等国家称为软拷贝摄影测量（Softcopy Photogrammetry）。中国著名摄影测量学家王之卓教授称之为全数字摄影测量（All Digital Photogrammetry 或 Full Digital Photogrammetry），他认为，在数字摄影测量中，不仅其产品是数字的，而且其中间数据的记录以及处理的原始资料均是数字的，所处理的原始资料自然是数字影像。

另一种广义的数字摄影测量定义则只强调其中间数据记录及最终产品是数字形式的，即数字摄影测量是基于摄影测量的基本原理，应用计算机技术，从影像（包括硬拷贝与数字影像或数字化影像）提取所摄对象并用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量分支

学科。这种定义的数字摄影测量包括计算机辅助测图（常称为数字测图）与影像数字化测图。

数字摄影测量的组成如图 3-1 所示。

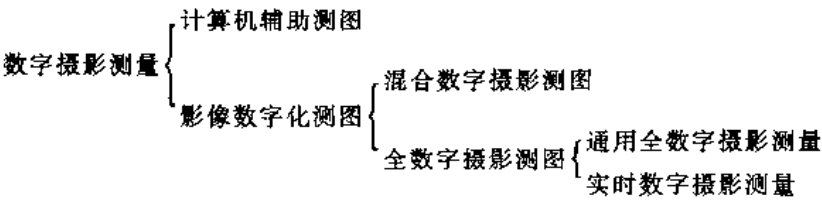


图 3-1 数字摄影测量的组成

其中，计算机辅助测图是摄影测量从解析化向数字化的过度阶段；混合数字摄影测量是一种部分数字化的摄影测量；全数字摄影测量必然是数字摄影测量的主流。

数字摄影测量系统的产生由来已久。早在 20 世纪 60 年代，第一台解析测图仪 AP—1 问世不久，美国的全数字化测图系统 DMAC 也有了初步的试验结果，其后，出现了多套数字摄影测量系统。1988 年京都国际摄影测量与遥感协会第 16 届大会上展示的 DSP—1 型为代表的数字摄影测量工作站，都是属于体现数字摄影测量工作站概念的试验系统。尽管 DSP—1 是作为商品推出的，但实际上并没有成功地销售。到 1992 年 8 月在美国华盛顿第 17 届国际摄影测量与遥感大会上，有了较为成熟的产品，其型式很像 1976 年赫尔辛基第 13 届国际摄影测量大会上展出的解析测图仪，它表明了数字摄影测量系统正在由试验阶段步入生产阶段。截至目前，已开发研制出的数字摄影测图系统如表 3-1 所示。

表 3-1 已开发的数字摄影测量系统

数字摄影测量系统名称	产 地	数字摄影测量系统名称	产 地
DMAC	美国	TRASTER T10	法国
DSR11 + CCD	瑞士	Inter Act360	美国
C100 + CCD	德国	DSCC	美国
DCCS	美国 Helava 公司	PHODS	德国
DSP1	瑞士与英国合作	MATCH-T	德国
DVP	加拿大	ERDAS	美国
Helava	美国	ORTHOMAP	意大利
WUDAMS (VirtuoZo)	中国	MERIDIAN	加拿大
I ² S	美国	DPS	德国
CONTEXT MAPPER	瑞典与德国合作	AIMS	美国

原则上，数字摄影测量系统是对影像进行自动化量测与识别的系统。但数字摄影测量现在正处于发展的早期，对影像物理信息的自动提取—自动识别方面的研究还非常粗浅，即使是对影像几何信息的自动提取—自动量测，也还存在许多需要研究与解决的问题，因此，在现阶段其作业方式只能是全自动、半自动及人工操作三种方式相结合。

1. 自动化与人工干预

在自动化作业状态下“作业”，应无须任何人工干预。系统无法处理的问题应自动记

录下来留给人工进行后处理，而不能因此使整个系统停止工作去等待人工干预；系统应能继续正常地运行下去。人工干预应是自动化处理的“预处理”与“后处理”。这就意味着，自动化的作业过程与人工干预不是一个交互的过程，而是分开来的两个部分。人工干预作为自动化系统的“预处理”与“后处理”以交互方式为自动化作业作准备，如必要的数据准备、必要的辅助量测工作等，以及处理自动化过程所残留的尚无法解决的问题。按此策略设计的数字摄影测量系统，虽还需要“人工干预”，但它采用批处理方式，能充分发挥系统的效率。

2. 人工干预与半自动化

在数字摄影测量系统中，人工的干预不应与模拟和解析测图中的相同，即完全由人工控制，而应尽可能地达到半自动化。即在大多数情况下，只须作业人员给出一简单的“指示”、或概略位置、或近似值，系统就能自动地处理。此时虽然不是全自动化地进行处理，仍然属于半自动化，但这种半自动化比起解析测图与计算机辅助测图（数字测图）中的半自动化，其自动化的程度则更进了一步。特别需要指出的是，在数字摄影测量系统中，大部分的人工干预与半自动化的处理，依然是借助于影像匹配来代替人眼的立体观测及借助于特征提取与定位来代替人工的实时量测。

3.2 数字摄影测量系统的组成与功能



数字摄影测量系统的任务是利用数字影像或数字化影像完成摄影测量作业。根据所处理的影像是部分数字化还是全部数字化可分为混合型数字摄影测量系统与全数字型数字摄影测量系统。在全数字型数字摄影测量系统中，若从影像获取到影像处理获取目标的三维信息是在一个视频周期（1/30s）内完成，则属于实时型数字摄影测量系统。

3.2.1 数字摄影测量系统的组成

无论何种形式的数字摄影测量系统，都由硬件和软件两部分组成。

1. 硬件

数字摄影测量系统硬件主要由两部分构成：一部分是数字影像获取装置与成果输出设备；另一部分（也是其核心部分）是一台计算机及其他外设。实际上，数字影像获取与输出设备也是计算机的外设。

全数字型的数字摄影测量工作站的一个重要特点是无需专门设计的高精度光机部件，但混合型的系统一般是在现有解析测图仪或坐标仪上加装 CCD 数字相机构成。

早期的一些系统需要专门的硬件相关器以弥补计算机速度低不能满足处理要求的缺陷。后来的一些系统利用现成的图像处理系统来构成，或者利用多处理器的模块式方法构成。由于计算机技术的飞速发展，其速度与容量均得到了很大的提高，因而目前许多系统的计算机就是一台工作站，或是高档微机。

一般情况下，一台实用数字摄影测量系统的计算机应具有不低于 33MIPS 与 6MFLOPS 的处理速度，配备 32M 以上的内存与 1G（=1000M）以上的硬盘及海量外存储器（磁带

机或光盘), 24 位彩色图像处理板 (若希望有动画功能, 还应带有 Z—buffer)。

对数字影像的立体观察, 可将立体反光镜置于显示屏幕前, 对并排显示的两幅影像进行观察; 或者利用互补色影像显示, 如左片为红色、右片为绿色并叠加在屏幕上, 然后利用红绿眼镜进行观察; 或者利用偏振光及闪闭法进行立体观察。这种专用于立体观测的监视器已得到迅速发展, 它必将替代前两种立体观测方式。

2. 软件

数字摄影测量系统的软件实际上是解析摄影测量软件与数字图像处理软件的集成, 其主要功能为:

(1) 定向参数的计算。

1) 内定向。框标的自动与半自动识别与定位, 利用框标检校坐标与定位坐标, 计算扫描坐标系与像片坐标系间的变换参数。

2) 相对定向。将左影像分区提取特征点, 利用二维相关寻找同名点, 计算相对定向参数。当不进行内定向而直接进行相对定向时, 则须提供三个参数。金字塔影像数据结构与最小二乘影像匹配方法一般都要用于相对定向的过程。人工辅助量测有时也是需要的。

3) 绝对定向。现阶段主要由人工在左(右)影像定位控制点, 由最小二乘匹配确定同名点, 然后计算绝对定向参数。今后有可能建立控制点影像库以实现自动绝对定向。

(2) 空中三角测量。其基本算法与解析摄影测量相同, 但由于数字摄影测量可利用影像匹配, 替代人工转刺, 从而极大地提高了空中三角测量的效率, 避免了粗差, 提高了精度。

(3) 形成按核线方向排列的立体影像。按同名核线将影像的灰度重新排列, 形成核线影像。

(4) 影像匹配。沿核线进行一维影像匹配, 确定同名点。若考虑结果的可靠性与精度, 应合理地应用影像匹配的各种方法。

(5) 建立 DTM。按定向元素计算同名点的地面坐标 (X, Y, Z) (若利用地面元相关方法, 则无需此步), 然后内插 DTM 格网点高程, 建立 DTM。

(6) 自动生成等高线。

(7) 制作正射影像。

(8) 等高线与正射影像叠加, 制作带等高线的正射影像图。

(9) 制作景观图、DTM 透视图。

(10) 基于数字影像的机助量测 (如地物地貌元素的量测)。

(11) 注记。

3.2.2 主要功能与产品

1. 数字摄影测量系统主要功能

数字摄影测量系统主要功能如下:

(1) 影像数字化: 采用扫描仪或数码相机获取数字影像。

- (2) 影像处理：主要是对影像压缩、去噪、增强等处理。
- (3) 单像量测：特征提取与定位。
- (4) 多像量测：影像匹配。
- (5) 摄影测量解算：与解析摄影测量相同，如空中三角测量。
- (6) 数字表面内插：如 DEM 建立。
- (7) 等值线自动绘制。
- (8) 机助量测与解译。
- (9) 交互编辑。

2. 主要产品

主要产品如下：

- (1) 空中三角测量加密成果；
- (2) 数字表面模型；
- (3) 数字线划图；
- (4) 数字正射影像图；
- (5) 景观图；
- (6) 透视图；
- (7) 立体模型；
- (8) 各种工程设计所需的三维信息；
- (9) 各种信息系统、数据库所需的空間信息。

3.3 数字摄影测量系统在电力系统中的应用



利用数字摄影测量系统建立数字地面模型 (DTM)，形成线划等高线和正射影像地图，是生产正射影像地图的一种有效而快速的方法，且可以直接提供数据，建立高程数据库和地理数据库，提供电力 GIS 中所需的相关信息。在此，首先以 VirtuoZo NT V3 全数字摄影测量系统为例，介绍数字摄影测量获取信息的流程，然后介绍主要信息如数字线化地形图、数字高程模型 DEM 和数字正射影像 DOM 的获取。

3.3.1 基于数字摄影测量系统获取信息的作业过程

VirtuoZo NT V3 全数字摄影测量系统具体的作业流程如图 3-2 所示。

1. 影像数字化或数字影像获取

对航摄像片进行数字化或直接获取航摄数字影像。

2. 定向参数计算

- (1) 对数字影像的框标进行定位，计算扫描坐标系与像片坐标系间的变换参数。
- (2) 对相对定向用的标准点及绝对定向用的大地点进行定位与二维相关运算，寻找同名点的影像坐标值。
- (3) 计算相对定向参数与绝对定向参数。

3. 影像匹配与建立数字地面模型

- (1) 按同名核线将影像的灰度予以重新排列。
- (2) 沿核线进行一维影像匹配求出同名点。
- (3) 计算同名点的空间坐标。
- (4) 建立数字地面模型（或表面模型）。

4. 测制等高线及正射影像图

- (1) 自动形成等高线。
- (2) 数字纠正产生正射影像。
- (3) 拼接镶嵌叠加产生正射影像地图。

通过以上作业，不仅可以获取正射影像与地形图，而且还可以方便地进行断面测量。在电力 GIS，特别是输变电 GIS 中，数字摄影测量系统可作为数据采集的主要手段，航空相片可作为电力 GIS 数据采集与数据更新的主要资料。采用数字摄影测量系统，对卫星遥感影像处理可生成多比例尺的卫星遥感影像图，可供线路规划和

前期设计的路径大方案使用。另外，采用数字摄影测量系统进行半自动化提取地物，并与 DTM 套合，可制作大比例尺路径平、断面图，供施工设计进行杆塔优化排位及校验计算等。

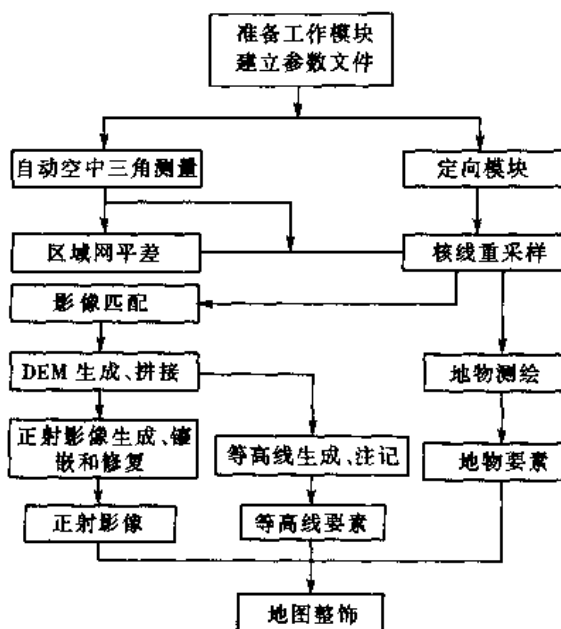


图 3-2 全数字摄影测量系统作业流程

3.3.2 利用 VirtuoZo 数字摄影系统获取电力 GIS 信息

1. 数字线化地形图 (DLG)

全数字摄影测量系统 VirtuoZo 最主要功能是获取数字线化地形图。为了便于空间数据库的管理，需要将测量的结果进行一定的转换、入库操作。方法是把所有数字摄影测量系统 VirtuoZo 测量的数据输出为 E00 格式，利用 ARC/INFO 转换为 coverage 数据，再转入到 ESRI 公司的空间数据库引擎 (Spatial Database Engine - SDE) 中进行空间数据库的管理。

GIS 一个重要特点是对 GIS 空间数据及其属性进行分析与处理，因此，DLG 中各特征的属性数据，如房屋层数、高度、面积、等级等，是实现 GIS 分析所必不可少的。而 VirtuoZo 所测量的结果一般是不包含属性的，因此，需要另外将属性数据录入数据库。可以用两种方法实现：一是在 ARC/INFO 中将需要的属性结构用 INFO 表来描述，并在 ARC/INFO 中将所有需要的属性数据输入 ARC/INFO 的 INFO 表，然后再将矢量特征与其属性一起转入空间数据 SDE 中；二是在 ARC/INFO 中定义属性的特征标示，并置为关键字，再转入 SDE 中，而将各种属性数据及其他专题数据通过关系数据库管理系统 SQL SERVER 来组织和管理，二者之间通过关键字（特征标示）来关联。前一种方法直观简单、使用方便，但 ARC/INFO 的操作负担太重，尽管 ARC/INFO 功能强大，但其操作却是众所周知的不方

便（至少在 8.0 以前的版本），对客户要求较高，所以在数据的管理中不是很方便。而后者在 ARC/INFO 中操作简单，只需建立一个关联 ID 即可，其属性数据库的管理都交由 SQL SERVER 来负责，这样属性的管理相对灵活得多，但是对数据的访问则多了一次关联操作，相对复杂一些。

2. 数字高程模型 (DEM)

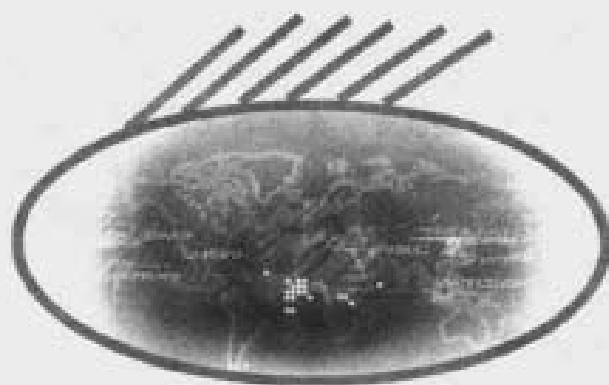
DEM 是进行断面提取直接使用的数据，DEM 的精度也直接影响到提取断面图的质量，因此对最后的定位影响极大。VirtuoZo 进行自动 DEM 采集，是利用影像匹配技术在左右影像上自动、高效地寻找出大量的同名点，并利用匹配的结果经后方交会后再进行内插生产出 DEM。由于实际作业过程中所使用的资料千差万别，所处理的航摄地区的地形也多种多样，全自动匹配的结果遇到影像中的低反差、纹理缺乏区、地形遮蔽区时，匹配结果不十分可靠，因此，匹配的结果需要一定的人工编辑。另外，在被处理地区有大片树林覆盖或城区时，匹配的同名点会大量落在树林和房屋等人工建筑物的顶端，此时则需人工交互式地将它们压到地面上。VirtuoZo 系统中提供了两种人工编辑方式，一种是在立体观察方式下通过显示等视差曲线和匹配点的方式对误配点进行编辑；另一种方式则是由 DEM 内插出等高线叠加于立体影像上，对有错误的地区进行编辑。前者可直接对匹配结果进行检查，并可利用各种编辑工具快速地修复误配点，后者则更直观，即所编即所得，同时也可对 DEM 的精度进行检查。

3. 数字正射影像地图 (DOM)

对于非测量专业人员来说，影像图显然比线化图 DLG 更易于理解。航摄像片真实和客观地反映了地表的景物，有着丰富的信息，然而它是中心投影，并不具有地形图的一切特性，而且不能直接与 DLG 叠加。前而已经提及在选线的时候需要叠加有 DLG 的正射影像图 (DOM) 作为背景，以便于作业人员在选线的过程中能更加直观地观察线路路径所经过的地形地貌信息。此外，在输出的断面图上，也包含与线路一致的带状影像图信息，这些信息也是从 DOM 提取后经重采样而得。因此，DOM 是输变电 GIS 系统的重要数据之一。

传统的正射影像图是利用正射投影仪来制作的，这需要价格昂贵操作复杂的正射投影仪。目前已不用这种方法生产 DOM，而使用全数字摄影测量技术进行影像的数字微分纠正生产 DOM。它是根据有关的参数与数字地面模型，利用相应的构像方程，或按一定的数学模型用控制点解算，由数字影像获取正射影像，这种过程是将影像化为很多微小的区域逐一进行，且使用的是数字处理方式，故叫做数字微分纠正或数字纠正。

VirtuoZo 在进行影像匹配之后即可内插 DEM，并根据 DEM 与原始影像可以生产出信息丰富的高质量 DOM。



4

地理信息系统 工程的 分析、设计与实施

一个好的地理信息系统工程必须紧扣具体业务应用模型，并对原有模型进一步提升和抽取，使之利用地理信息系统技术实现。因此，地理信息系统工程成功的关键是分析与设计。本章重点论述地理信息系统的软件工程分析与设计方法，同时，对系统测试、运行维护、配置管理以及文档管理等进行讨论。

4.1 电力 GIS 工程建设基本步骤



4.1.1 GIS 工程与软件工程

GIS 技术结合 CAD 技术和数据库技术的长处，使二者发生有机关联，同时加上拓扑结构和强大的分析模型，使 GIS 成为具有强大分析功能的空间数据库系统。电力 GIS 的业务需求正是利用 GIS 的技术来处理，使电力系统各种信息直观地反映在屏幕上，并通过与图形关联的属性数据库进行图数双向检索、拓扑网络分析和大量决策分析处理。因此，电力 GIS 工程建设实际上是一项复杂的软件工程。

解决大型复杂软件工程的主要途径是：一方面采用一系列技术方面的措施，如使用更好的软件开发方法和开发工具等。另一方面，着重从组织管理措施方面改进，即软件开发不是某种个体劳动的神秘技巧，而应该是一种组织良好、管理严密、各类人员协同配合、共同完成的工程项目。

GIS 能实现地理信息和有关设备以及图形和资料的集成化管理，使人们能够在直观的图形接口上对地理分布的网络设备进行一致性管理和充分、完整的信息交流。从根本上讲，任何一个较为复杂的 GIS 项目不仅仅是一个单纯的技术问题，而是一个涉及到方方面面的、复杂的工程项目。显然，GIS 工程的建设过程中，应当避免出现类似“软件危机”的问题。因此，从其开始研究、设计，到实现、完善，自始至终都可以采用软件工程

的概念、原理、技术和方法来开发与维护 GIS。

GIS 工程自身遵循着一套科学的设计原理和方法，是软件工程普遍原理的具体应用。以空间信息作为其管理对象的 GIS，与一般的信息系统相比，有其特殊性。GIS 工程跨越了多种学科，不仅仅涉及到工程学领域，还涉及社会、经济等领域。GIS 工程的建设从计划立项到产品运行涉及多个环节，参照其他系统的研制过程，用软件工程的方式有效地管理 GIS 建设的全过程，可分为可行性研究、客户需求分析、系统总体设计、系统详细设计、系统实现、运行维护与更新等阶段。

4.1.2 电力 GIS 工程建设基本步骤

电力地理信息系统建设可以采用软件工程方法，是应用 GIS 原理和方法，针对电力企业的实际应用目的和要求，统筹设计、优化、建设、评价、维护和应用 GIS 的全部工程和

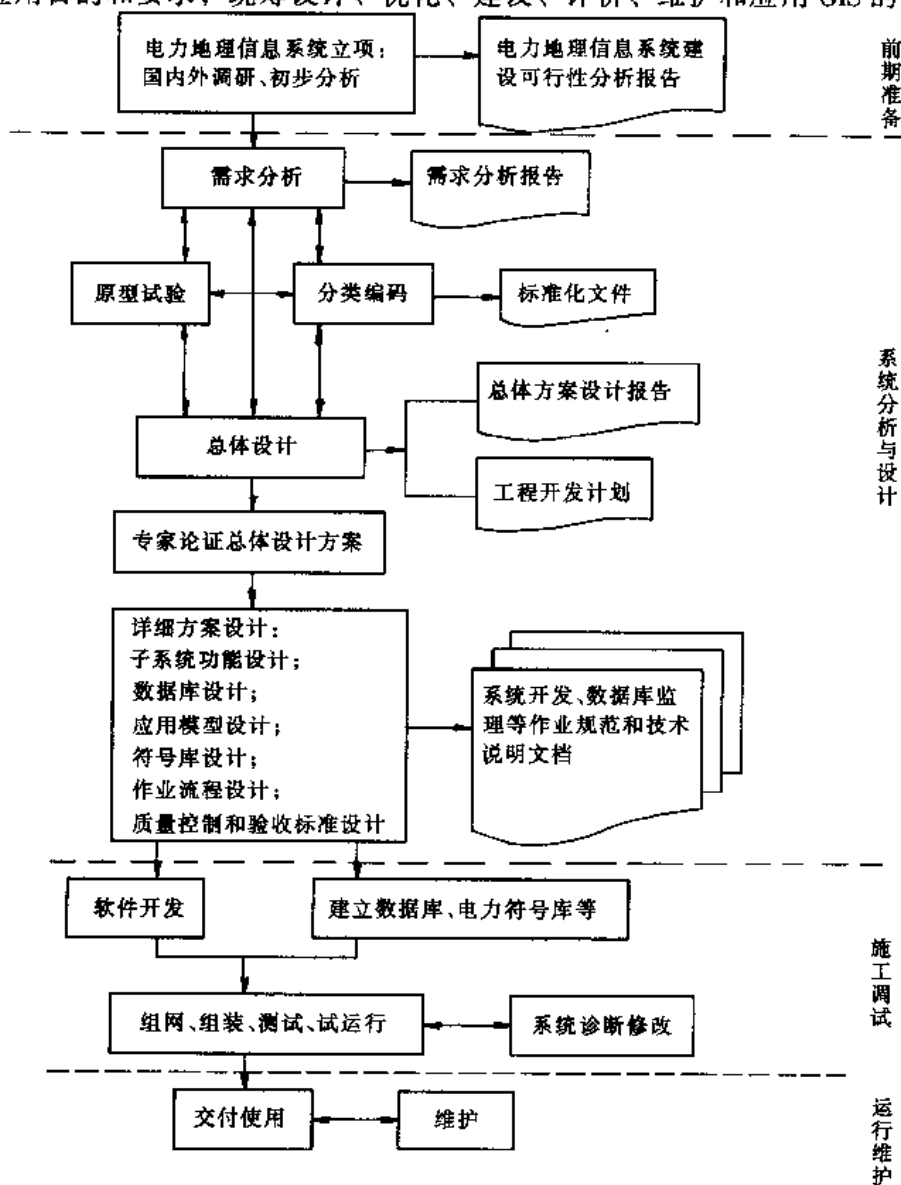


图 4-1 电力地理信息系统的建设流程

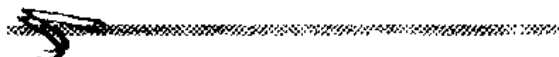
步骤的统称。

电力地理信息系统工程中涉及因素众多，主要包括计算机硬件、软件、网络、数据及人。计算机硬件是构成电力地理信息系统的物理基础；计算机软件是形成电力地理信息系统的推动模型；计算机网络是实现资源共享的平台；数据是电力地理信息系统的“血液”，是保证系统运行、效益和价值的根本；人是活跃在电力地理信息系统中的关键因子，既是系统的提出者，又是系统的设计者和建设者，同时还是系统的使用者和维护者。

从电力地理信息系统特点分析，它具有软件工程所具有的共性，也有其自身的特殊性。在其开发建设工程中，需要领导阶层、生产运行管理和维护技术人员、企业信息技术人员、电力客户服务人员及协作开发单位的相互协调合作；涉及到项目立项、系统调查、系统分析、系统设计、系统开发和维护诸阶段的逐步建设；需要进行资金筹措、人力资源配置、开发环境策略、开发进度控制等许多方面的组织与管理。其中系统设计主要侧重于：需求分析；总体结构描述；计算机软硬件配置，包括选择合适的 GIS 开发平台及工具软件；数据来源、信息分类、规范、标准和费用的确定；数据库结构设计；应用方法选择和应用模型设计；人机界面设计；数据标准化和数据质量保证等等。

电力地理信息系统开发建设按实施时间序列分为 4 个阶段：需求分析、系统设计、系统实施和系统维护与评价。相应于每一阶段，都会形成一定的文档资料，以保证电力地理信息系统的顺利建设，并最经济地花费人力与物力，便于运行和维护。这些文档作为项目的成果之一，集中体现了电力地理信息系统开发建设人员的大量劳动成果，是电力地理信息系统不可缺少的组成部分。电力地理信息系统的建设流程如图 4-1 所示。

4.2 可行性分析



这是系统建设的初级阶段，项目计划确定之后，即开始对系统进行可行性调查研究、分析和论证。

可行性研究的目的就是用最小的代价在尽可能短的时间内确定问题是否能够解决，其目的是尽量避免人力、物力和财力上的浪费，并减少项目开发的风险。必须指出，可行性研究与风险分析在许多方面是相互关联的。项目风险越大，开发高质量的 GIS 的可行性就越小。一般地，GIS 工程可行性研究分析包括经济可行性、技术可行性、操作可行性、法律可行性和开发方案的选择性。完成可行性研究分析后，分析员应当对后续工作提出建议：若不可行，应当建议停止这项 GIS 工程；若可行，应当推荐一个或一组比较好的方案，为工程制定初步计划。

4.2.1 经济可行性

地理信息系统的迅速发展促进了社会经济的发展，给社会带来了巨大的经济效益。GIS 工程的成本—效益分析是可行性研究的重要内容。那么，如何确定一个 GIS 工程的成本—效益呢？由于 GIS 项目属于多学科的、综合性的计算机应用系统，因此，可基于计算机系统来评估 GIS 项目的经济合理性。给出系统开发的成本论证，并将估算的成本与预期

的利润进行对比。由于项目开发成本受项目的特性、规模等多种因素的制约,必须对 GIS 设计进行反复优化,才可以获得较为满意的质量。一般系统分析员很难直接估算基于计算机系统的成本和利润,所以要得到完全精确的成本—效益分析结果并非易事。

1. 估算成本

(1) 成本组成。一般说来,基于计算机系统的 GIS 工程成本由以下四个部分组成:

- 1) 购置并安装软/硬件、GIS 开发工具及有关设备的费用;
- 2) 系统开发费用;
- 3) 系统安装、运行和维护费用;
- 4) 人员培训费用。

在系统分析和设计阶段只能得到上述费用的预算,即估算成本。在系统开发完毕并交付客户使用后,上述费用的统计结果就是实际成本。

(2) 估算成本的方法。软件工程中估算成本的方法通常有:

1) 代码行法。代码行法的基本原理是根据实现软件功能所需要源代码行数来估算成本开销。即按照经验和历史数据估计实现一个功能需要的源程序行数。估计出源代码行数以后,用每行代码的平均成本乘以行数就可以确定软件的成本。每行代码的平均成本主要取决于软件的复杂程度和开发人员的工资水平。

2) 任务分解法。这种方法是把所开发工程分解为若干相对独立的任务,分别估算每个单独的开发任务的成本,然后累加起来得出整个工程的总成本。估计每个任务的成本时,通常先估计完成该任务需要用到的人力,再乘以每人的平均工资即可得出每个任务的成本。

最常用的方法是按开发阶段划分任务。如果软件系统很复杂,由若干个子系统组成,则可以把每个子系统再按开发阶段进一步划分成更小的任务。这种方法比较适宜于 GIS 工程的成本估算。

3) 自动估算法。所谓自动估算法就是借助软件工具估算软件工程的成本,以减轻人的劳动,提高工作效率。当然,采用这种方法必须有长期搜集的大量历史数据为基础,且要有良好的数据库系统和模型的支持。

2. 效益分析

系统效益主要包括经济效益和社会效益两部分。经济效益指应用系统为客户增加的收入,具体包括因使用新开发的系统可以节省的运行费用和增加的收入之和。经济效益和系统生命周期有关,所以应该合理地估计系统的寿命。

系统效益可以通过直接的或统计的方法估算。社会效益只能用定性的方法估算。

实际上,必须结合系统开发成本进行系统效益的分析。即应该综合比较分析系统的开发成本和经济效益,以便从经济角度判断这个系统是否值得投资。而投资是现在进行的,效益是将来获得的,因此,在比较成本和效益时,可考虑以下因素。

(1) 货币的时间价值。货币的时间价值用利率表示。设年利率为 i ,如果现在存入 P 元,则 n 年后可以得到的钱数为 $F = P(1+i)^n$,这也就是 P 元钱在 n 年后的价值。反之,如果 n 年后能收入 F 元钱,那么这些钱的现在价值是 $P = F / (1+i)^n$ 。

(2) 投资回收期。投资回收期是衡量工程价值的一项经济指标。所谓投资回收期就是累计的经济效益等于最初投资所需要的时间。显然, 投资回收期越短就能越快获得利润, 而这项工程也就越值得投资。

(3) 纯收入。工程的纯收入是衡量工程价值的另一项经济指标。即在整个生命周期之内系统的累计经济效益(折合成现在值)与投资之差。通常是在投资开发一个软件系统和把钱存在银行中(或贷给其他企业)这两种方案之间进行比较。如果纯收入小于或为零, 则经济观点看这项工程可能是不值得投资的。

(4) 投资回收率。计算投资回收率是衡量工程经济效益时的最重要的参考数据。投资回收率的计算公式为

$$P = F_1/(1+j) + F_2/(1+j)^2 + \cdots + F_n/(1+j)^n$$

式中 P ——现在的投资额;

F_i ——第 i 年底的效益 ($i=1, 2, 3, \cdots, n$);

n ——系统的使用寿命(年);

j ——投资回收率。

解出这个高阶代数方程即可求出投资回收率。

GIS 建设是一项耗资大的系统工程, 需要有足够的资金财力保证系统的建设实施, 资金投入往往决定系统建设规模。因此, 需要根据所开发的 GIS 工程的实际情况, 合理选择、采用上述的技术和方法, 对 GIS 开发及维护时期的资金占有情况要作充分的预测估算, 对资金在硬软件资源、数据录入、建库、系统管理几部分的分配要制定合理的方案。

4.2.2 技术可行性

所谓技术可行性研究主要是确定利用现有的技术能否实现准备开发的 GIS 项目。在技术可行性研究过程中, 系统分析员应尽可能全面收集系统性能、可靠性、可维护性和可生产性等方面的信息; 分析实现系统功能和性能所需要的各种设备、技术、方法和过程; 分析项目开发在技术方面可能担负的风险, 以及技术问题对开发成本的影响等。如有条件, 还要充分研究现有系统或现有类似系统的功能与性能, 采用的技术、工具、设备和开发过程中成功和失败的经验、教训, 以便为拟建 GIS 工程作参考。

在分析过程中, 要充分运用基于计算机系统技术分析活动的各种有效工具, 如数学建模、原型构造、模拟与仿真等。系统模型必须具备下列特性:

(1) 能够反映系统配置的动态特性, 容易理解和操作, 能够提供系统真实的结果并有利于评审;

(2) 能够综合与系统有关的全部因素, 能够再现系统运行的结果;

(3) 能够突出与系统有关的重要因素, 能够忽略与系统无关的或次要的因素;

(4) 结构简单、易于修改、容易实现。

对于大型复杂模型, 还需要进行分解, 即将其等价地分解为若干个较小的、简单的模型, 一个小模型的输出作为另一个小模型的输入。必要时, 还可以借助模型对系统中的某一独立要素进行单独评审。开发模型过程中, 客户、系统开发人员和管理人员要共同努

力, 要对模型进行一系列的试验、评审、修改和完善。

项目管理人员要根据技术分析的结果和分析人员的建议, 决定是否进行该 GIS 工程的建设。如果技术风险很大, 或模型演示表明当前采用的技术和方法不能实现系统预期的功能和性能, 或系统的实现不支持各子系统的集成等等, 那么, 就应当停止该 GIS 工程的建设。

此外, 建设 GIS 需要相当数量的各种层次、各种专业的技术人员与管理人员, 运行 GIS 需要具有一定专业技能的客户, 而且在系统开发时期与运行维护时期有不同的要求。因此, 技术可行性研究还包括: 根据系统规模大小和系统的专业领域, 对技术力量的数量与结构进行分析是确定工程建设顺利实施的可保证程度。

4.2.3 可行性方案选择

完成技术可行性分析后, 就可以开始着手该 GIS 可行性求解方案的研究和选择。通常的做法是将一个大型复杂系统分解为若干个子系统; 精确地定义各子系统的接口、功能和性能; 确定各子系统之间的关系, 以降低解的复杂性, 便于人员的组织和分工, 提高系统开发效率和工作质量。一般来说, 一个 GIS 分解和实现的方案不是惟一的。由于每一种方案对成本、时间、人员、技术、设备等都有一定的要求, 因此, 不同方案开发出来的 GIS 在系统功能和性能方面会有很大的差异。而系统开发成本又可划分为研究成本、设计成本、设备成本、程序编码成本、测试和评审成本、系统运行和维护成本等, 因此在开发系统所用总成本不变的情况下, 若各阶段采用不同的成本分配方案, 则对系统的功能和性能将产生不同的影响。因此, 在选择系统方案时应当充分全面地考虑与系统功能和性能相关的多种因素以及这些因素彼此关联和制约的关系, 如系统有效使用的范围与精度的关系、系统输出精度与系统执行时间的关系、系统安全性、低成本与高可靠性等等。

4.3 需求分析



GIS 工程需求分析是系统定义时期的重要阶段, 其基本任务是回答“系统应当完成什么功能”这个问题。确切地说是指客户对目标系统在功能、行为、性能、设计约束等方面的要求, 即准确定义拟建系统的目标, 要说明目标系统的功能、性能有什么要求, 系统必须做什么。

一般, GIS 分析员承担 GIS 工程需求分析的任务, 系统分析员根据 GIS 的应用领域的服务对象, 通过学习并且与客户交换信息, 把来自客户的信息加以分析、提炼, 熟悉要开发的 GIS 领域的知识, 获得客户对拟建系统的要求, 通过对应用问题及其环境的理解与分析, 为问题涉及的信息、功能及系统行为建立模型, 对系统目标提出完整、准确、清晰、具体的客户需求, 最终形成需求规格说明。需求分析的结果关系到 GIS 工程的质量, 既是 GIS 工程建设的基础, 也是工程建设成败的关键。

需要说明的是, 在客户需求分析阶段, 系统分析员从逻辑上定义系统功能, 解决“系统做什么”, 从功能、性能上加以描述, 不涉及具体的物理实现过程, 暂不解决“系统如

何做”，客户需求分析的任务是要获得 GIS 的逻辑模型。

4.3.1 需求获取

1. 需求分析概述

(1) 任务。需求分析阶段的具体任务主要包括：系统分析员通过学习并且与客户交换信息确定系统的综合要求、分析系统的数据要求、导出系统的逻辑模型、修改完善原系统工程开发计划等。

需要说明的是，若开发大型、复杂、全新的 GIS 时，应当考虑开发“原型系统”，从而通过模拟或仿真实验获得更加完整准确的系统性能及有关参数。当然，采用开发“原型系统”的策略会增加系统开发的成本。

(2) 目标。需求分析阶段的主要目标是获取客户的需求。

(3) 过程。GIS 需求分析的过程可分为问题分析、需求描述及需求评审三个阶段，如图 4-2 所示。

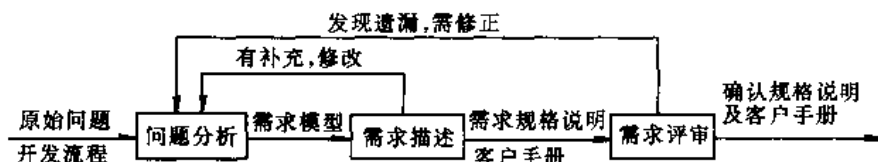


图 4-2 GIS 需求分析过程

首先，在问题分析阶段，GIS 分析人员一方面应该将自己对原始问题的理解与严谨、科学的开发方法和以往的开发经验相结合，另一方面要自始至终地和客户单位密切协作，通过对问题及其环境的理解、分析、判断和综合，清除客户需求的模糊性、歧义性和不一致性，确定哪些客户需求属于片面性、短期的、矛盾的或者不合理的，或对相互冲突的要求进行折衷，提出一些客户尚未提出但具有真正价值的、建设性的潜在需求，建立系统需求模型。

需求描述阶段的主要任务是：以需求模型为基础，以问题的可解性为前提，生成需求规格说明和初步的客户手册。需求规格说明包含对所开发的 GIS 的外部行为的完整描述、需求验证标准以及客户在性能、质量、可维护性等方面的要求。客户手册则包括应用系统客户接口描述以及有关使用方法的初步构想。

在需求评审阶段，系统分析人员要和客户及 GIS 设计人员密切协作，对已经生成的需求规格说明和初步的客户手册进行认真仔细地复核，以确保所确定的 GIS 需求的全面性、精确性和一致性，并使客户和 GIS 设计人员对需求规格说明及客户手册的理解达成一致。一旦发现遗漏或模糊点，就及时更正。一般情况下，需求规格说明得到客户和 GIS 开发方的一致确认后，就成为客户与 GIS 开发方之间的合同，按照合同法的规定，任何增删或改动所引起的开发规划及成本等方面的变化，应由提出方承担相应的经济责任。

当然，需求分析阶段并非一定在时序上严格遵循上述三个步骤。事实上，对于大型复杂 GIS 开发项目，系统分析人员往往采用自顶向下、逐步求精的方法，或者采用自底向

上、各个击破的方式，或者同时采用上述两种方法进行问题分析、需求描述与需求评审，进而构筑整个系统的需求模型。

此外，在进行 GIS 需求分析时，往往受系统分析人员对问题空间的理解程度、人与人之间的相互沟通、需求的不断变化（易变性）、问题的表达方法等几个方面的约束。

2. 需求获取的内容

- (1) 功能性需求。解决系统要做什么的问题。
- (2) 非功能性需求。对系统有何要求，如系统稳定性和安全性等性能方面的要求。

3. 需求获取应遵循的原则

在需求分析阶段，系统分析员应遵循以下原则：分析、研究、获取问题空间的“整体/部分”关系；分析、研究、获取问题空间的“一般/特殊”关系；分析、研究、获取问题空间的多维“视图”等。

4. 系统分析员的素质

要成功地完成需求分析阶段的任务，系统分析员应当具备以下素质：

- (1) 概括能力、分析能力、社交活动能力；
- (2) 具有丰富的开发计算机软硬件的经验；
- (3) 善于在客户和开发机构之间进行良好的沟通与协调；
- (4) 能够充分理解客户提出的要求。

5. 需求获取所采取的手段

在分析阶段，系统分析人员往往对问题知之较少，客户对问题的描述、对系统目标的要求通常也相当零乱、模糊。特别是系统分析人员与客户之间共同的知识领域往往不多，从而难以相互沟通。

为克服上述困难，系统分析人员应当采用以下需求分析手段：

(1) 开会、访谈。系统分析人员一般以个别小组会议的形式开始与客户进行初步沟通。在访谈或会议前，分析人员应该按照以下原则精心准备一系列问题，通过客户对问题的回答获取有关问题及环境的知识，逐步理解客户对目标 GIS 的要求。

1) 问题的提出，应该是由一般到特殊、由抽象到具体、由总体到细节、由表及里、循序渐进。

2) 所提问题应尽量客观、公正，客户可以任意回答，自由发挥。

3) 问题汇总后能反映应用问题或其子问题的全貌，并覆盖客户对目标系统或其子系统在功能、行为、性能诸方面的要求。

(2) 了解客户业务工作流程。实际观察了解客户的手工操作过程也是一种行之有效的需求获取方法。不过，在实际观察过程中，系统分析人员必须切记：构建 GIS 不仅仅是为了模拟手工操作过程，更为重要的是还必须将最好的经济效益、最快的处理速度、最合理的操作流程、最友好的客户接口等作为系统目标。系统分析员不是被动地接受客户关于应用问题及背景的知识，而应当创造性地工作，要结合自己的 GIS 开发和应用经验，剔除不合理的客户需求，从技术角度积极主动地改进操作流程或规范，提出新的潜在的客户需求。可能这些需求暂时尚未被客户意识到，但在将来的 GIS 应用过程中将会逐步为客户所

接受。

(3) 客户和开发人员共同组成联合小组。在需求分析初期,由于系统分析人员和客户之间相互陌生,知识领域和工作侧重也各不相同,因此,在他们之间往往存在着一定的鸿沟。实践表明,系统分析人员和客户仅仅通过问答和文档进行沟通,这将抑制双方在需求分析过程中的主动精神和创造思维,阻碍良好的协同工作关系,从而容易导致误解和遗漏。因此,有必要建立由 GIS 工程开发方和客户方共同组成的联合小组,参加小组的客户也属系统分析人员,他们对系统需求分析的质量负有与开发方相同的责任。联合小组要就拟建设的 GIS 工程制订专门的工作制度和计划,确定专门的记录员并设专人负责每次联合会议的议程和数据的综合、整理;还必须选定一种易于双方便于理解沟通、尽可能简洁精确的共同语言进行交流,例如辅以文字说明的流程图等。

4.3.2 需求分析方法

1. 概述

系统分析人员进行需求分析时,一般采用结构化分析方法,即:模块化开发、自顶向下、逐步求精、规约需求,对需求定义进行分析,解决其中存在的二义性和不一致性的问题,准确的表达客户需求,形成需求规格说明书。

结构化分析方法 (Structure Anasay) 是基于数据的分析技术,采用的基本手段是分解和抽象。即根据数据流分析的观点,系统模型的功能数据变幻,结构化分析方法将软件系统抽象为一系列的逻辑加工单元,各单元之间通过数据流发生关系,逻辑加工单元接受输入数据流并且把它变换成输出数据流。

2. 模型表示

系统模型必须以某种形式进行描述,涉及系统模型表示的有关概念如下:

- (1) 数据流程图:一种描述数据变换的图形工具,可用于描述系统的逻辑模型。
- (2) 数据字典:以准确无二义性的方法定义数据流和文件。
- (3) 加工说明:数据处理、加工文字说明。

数据流程图的四个基本成分:

- (1) “○”:加工。表示对数据进行处理。
- (2) “→”:数据流。表示数据及其流向,通常由一组数据项组成。
- (3) “=”:数据存储:表示信息的静态存储。
- (4) “□”:数据源点和数据终点。

数据字典:

- (1) 数据流条目:包括“名称、描述、频率和数据量、数据结构”。
- (2) 文件条目:包括“名称、描述、数据存储方式、关键码、频率和数据量、安全性要求、数据结构”。
- (3) 数据项条目:包括“名称、描述、数据类型、取值范围及缺省值、精度、计量单位”。

3. 步骤

- (1) 问题抽象、问题分解与视角分解。系统分析员通过抽象的方法,在分析过程中,

从杂乱零散的条件和现象中，按问题的不同层次分级抽象，捕捉客户描述或问题本身所固有的一般规律和特殊关系，确定从一般问题到特殊问题的求解方式与解决途径。这是建立清晰思路的重要方法。

问题分解是用于分析各阶段的又一种方法。由于问题的规模和复杂度，人们往往需要通过各个子问题的理解和分析来实现对整个问题的理解。在分析阶段，可以将一个大型、复杂问题进一步分解为若干个相对简单、功能独立完整的子问题，分别对各子问题进行需求分析。如有必要，这种分解可以逐级进行，直至子问题的规模和难度降至合适的水平与程度。

与问题分解相对应，视角分解也可广泛应用于需求分析活动。视角分解又称为多视点分析。即，在需求分析过程中，既要从全局观点整体把握一个大型问题的软件需求，也要从各个角度分别对问题进行理解和分析，然后归纳综合成为全面理解。如分析人员在整理客户描述的过程中应从客户视角出发分析问题，避免由于视角不齐全而引起的需求遗漏。一般地，需求分析的不同视点包括系统观点与客户观点、信息观点、功能观点与行为观点等等。

(2) 需求建模。系统分析员用模型刻画目标 GIS 所涉及的信息、处理功能及实际运行时的外部行为。在分析阶段，为避免分散分析人员的注意力，所构建的系统模型不应涉及软件的实现细节，否则可能会限制软件设计人员为提高软件的质量和效率而选择实现方法的自由度。

建立软件模型是分析活动的焦点。因为模型以一种简洁、准确、结构清晰的方式系统地描述了软件需求，从而便于分析员剔除客户描述中的模糊性和不一致性，并使软件需求臻于完全。分析过程实质上是软件模型的建造和不断完善的过程，最终确立的软件模型既是生成需求规格说明的基础，又是软件设计和实现的依据。

需求分析的具体步骤是：首先把整个系统表示成一张总图，标出系统边界及所有的输入输出，逐步对系统进行细化，每细化一次就把一些复杂的功能分解成比较简单的功能并增加一些细节描述，再继续细化，直到所有的功能都足够简单为止。

- 1) 画出系统模型，确定系统边界；
- 2) 自顶向下画出各层数据流程图；
- 3) 定义数据字典；
- 4) 定义加工说明；
- 5) 汇总前面各步骤的结果。

4. 需求规格说明书

在结束需求分析阶段之前，应当形成需求规格说明书。需求规格说明书是由开发人员经需求分析后形成的软件文件，为方便客户、分析人员和软件设计人员进行理解和交流。它必须具有以下功能：

(1) 需求规格说明书既是客户在分析阶段初步判定目标软件能否满足其系统目标的基本文件，又是开发设计人员进行软件设计的基本依据。

(2) 需求规格说明书中的各项需求都应该是可测试的，而不应由人为因素决定。

(3) 系统需求可扩充。在需求分析完成之后, 如果客户追加新的需求并被确认, 那么, 系统分析员必须针对新的需求进行需求分析, 扩充需求规格说明书, 再进行软件设计。

需求规格说明书的主体包括功能与行为需求描述及非行为(性能)需求描述两部分。功能与行为需求描述说明系统的输入、输出及其相互关系; 非行为需求是指软件系统在运行时应具备的各种属性, 包括效率、可靠性、安全性、可维护性、可移植性等。

5. 需求评审

为确保 GIS 项目开发成功, 提高质量, 降低成本, 在将需求规格说明书提交给设计阶段之前, 必须进行需求评审。如果在评审过程中发现说明书存在错误或缺陷, 应及时进行更改或弥补, 重新进行相应部分的初步需求分析、需求建模, 修改需求规格说明书, 并再行评审。衡量需求规格说明书好坏的标准如表 4-1 所示。

需求规格说明书应当注意以下事项:

(1) 命名问题。加工名字最好用动宾词组或主谓词组; 数据流使用名词或词组, 不要加动词和抽象名词。

(2) 平衡规则。规范正确地使用符号, 数据字典完整规范, 最底层加工必须写出加工说明, 附图和子图要平衡。

(3) 控制复杂性规则。规格说明书的内容要完整、直观、简单、明了, 尽量避免使用复杂的公式、规则以及难懂的专业词汇或术语。

表 4-1 衡量需求规格说明书好坏的标准

标 准	内 容
正确性	需求规格说明书中的功能、行为、性能描述必须与客户对目标 GIS 产品的期望一致
无歧义性	对于客户、分析人员、设计人员和测试人员而言, 需求规格说明书中的任何语法单位只能有惟一的语义解释。确保无歧义性的一种有效措施是在需求规格说明书中使用标准化术语, 并对术语的语义进行显式的、统一的解释
完全性	需求规格说明书不能遗漏任何客户需求。具体地说, 目标 GIS 产品的所有功能、行为、性能约束以及它在所有可能情况下的预期行为, 均应完整地包含在需求规格说明书中
可验证性	对于规格说明书中的任意需求, 均存在技术和经济上可行的手段进行验证和确认
一致性	需求规格说明书的各部分之间不能相互矛盾。这些矛盾可以表现为术语不一致, 功能和行为特征方面的冲突, 以及时序方面的一致
可理解性	需求规格说明书对于客户、软件人员和测试人员均易于理解。特别是对于非计算机专业的客户而言, 在说明书中尽量避免使用专业化词汇
可修改性	需求规格说明书的格式和组织方式应易于后续的增加、删除和修改, 并使修改后的说明书能够较好地保持其他各项属性
可追踪性	必须将分析后所获得的每项需求与客户的原始需求项清晰地联系起来, 并为后续开发和其他文档引用这些需求项提供便利
设计无关性	需求规格说明书中不暗示特定的软件结构或算法

6. 描述语言

编写需求规格说明书一般采用自然语言或结构化的自然语言。而结构化自然语言是介于形式语言和自然语言之间的一种语言, 语法由内外两层表示, 外层语法描述操作的控制结构(程序设计语言中的控制结构), 内层语法用自然语言描述。

7. 需求规格说明书

技术合同：作为 GIS 开发方和 GIS 客户之间的一份事实上的技术合同书。

开发基础：作为 GIS 开发方下一步进行设计和编码的基础。

测试和验收的依据。

4.3.3 GIS 需求分析的主要内容

1. 定义客户需求逻辑功能

需求分析就是要充分理解客户现行业务运行系统，根据业务功能的聚散性对系统进行结构化划分，界定系统的功能范围，获取系统与环境进行信息流交换的关系。需明确哪些业务子过程可以通过 GIS 在现有发展水平下进行管理或辅助管理，哪些不能。通常需求功能可大于 GIS 可实现的功能。

2. 数据流程图分析

面向空间信息管理的业务部门，其业务运作是基于大量的图形/图像/图表/文字等数据，并通过这些数据的流程反映其管理作业程序。因此，系统分析员通过结构化分析把业务过程细化，详细分析数据的加工处理过程，对每个细化的业务子过程中的数据处理通过数据流程图来描述，由数据流向、加工、文件、源点和终点四种成分，得到数据操作的逻辑模型。

3. 数据字典设计

系统分析员在数据流分析的基础上对空间数据、属性数据进行定义，对数据流条目、加工条目、文件条目进行详细描述分类和定义，列出组成该条目的数据项及组织方式、数据类型、存储长度、取值范围等。数据字典所描述的对象既有“过程性”数据，又有“状态性”数据。此外，客户业务中的一部分数据隐含在地形图及有关专题图件中，专业管理人员从地图上识别、思考获取这些数据，包括图上注记形式表达的空间设施组成的群体结构等。在设计数据字典时应特别注意对这部分数据分析加工进行显式定义，建立空间目标的属性表，为数据组织设计作准备。

需要说明的是，在 GIS 工程建设中，对空间数据的描述往往采用元数据技术（见下节）。

4.4 总体设计



4.4.1 概述

需求分析阶段的工作是总体设计的基础。总体设计阶段的任务是确定系统“怎么做”，即确定实现目标系统的方案。系统总体设计的任务主要包括两个方面：

一是确定各子系统的划分。一个大型的 GIS 往往要根据一定要求划分成若干子系统，划分的依据有：功能模块之间的耦合度；功能模块内的内聚性；数据的共享；行政管理机构的设置。系统设计时，单从面向客户考虑，往往只根据业务部门管理机构的设置划分子

系统，一个部门体制不科学、不合理，机构设置不够稳定时，会给系统建设带来极大的困难，因此应综合考虑这四方面的因素。子系统划分之后，应确定各子系统模块的总体功能，界定各自的功能范围。

二是各子系统之间的接口设计。子系统之间的联系主要涉及数据共享、中间数据交换和子功能调用等方面的问题。应严格约定公用数据的交换格式，保持空间数据库建库方案的一致性。另外，针对不同的子系统数据的使用权限进行定义。

一般来说，一个完整的 GIS 通常由四个部分组成，包括：计算机硬设备，软件系统，空间数据库，系统维护和使用人员。其中，硬件包括计算机主机、数据输入/输出设备、数据存储设备、数据通信传输设备等；软件系统包括计算机系统软件、GIS 基础软件和其他支持软件、GIS 应用软件等；空间数据库则主要包括空间数据和属性数据；而系统使用和管理人员也是 GIS 的重要组成部分。在此，与软件工程总体设计阶段的任务相对应，主要是完成地理信息系统应用软件、应用分析模型以及地理空间数据库等开发任务。

总体设计过程中首先要寻找实现目标系统的各种方案，需求分析阶段得到的数据流程图是设想各种可能方案的基础。然后分析员从这些供选择的方案中选取若干个合理的方案，为每个合理的方案都准备一份系统流程图，列出组成系统的所有物理元素，进行进一步的成本/效益分析，并且制订实现这个方案的进度计划。分析员应该综合分析比较这些合理的方案，从中选出一个最佳方案向客户推荐。如果客户接受了推荐的方案，分析员应该进一步为这个最佳方案设计软件结构。通常，设计出初步的软件结构后还要多次改进，从而得到更合理的结构，进行必要的数据库设计，确定测试要求并且制订测试计划。

总体设计过程通常由两个主要阶段组成：系统设计，确定系统的具体实现方案；结构设计，确定 GIS 软件结构，形成软件的具体设计方案。

可采用的方法：结构化设计方法—SD、面向对象设计方法—OOD、面向数据结构的设计方法—Jackson 方法等。

总体设计的主要任务是：确定系统的整体模块结构、文档、模块结构图。

总体设计步骤如下：

- (1) 将系统化分成模块；
- (2) 确定每个模块的功能；
- (3) 确定模块间的调用关系；
- (4) 确定模块间的接口。

总体设计的表示形式是：在设计 GIS 工程总体方案时，可采用类似于软件工程中的方法，即用层次图、HIPO 图、结构图等描述软件层次结构，具体细节可参阅软件工程有关内容。

4.4.2 总体设计过程

1. 设想供选择的方案

在总体设计阶段，分析员首先应该考虑各种可能的实现方案，并力求从中选出最佳方案，提高系统的性能/价格比。

需求分析阶段得出的数据流程图是总体设计的基本依据。分析员可适当调整数据流程图，即将数据流程图中的某些处理归并在一个自动化边界内作为一组，另一些处理可以放在另一个自动化边界内作为另一组。

设想供选择的方案的一种常用的方法是，尽量设想数据流程图中各种可能的处理分组方法，抛弃在技术上行不通的分组方法，余下的分组方法表示可能的实现方案。在总体设计时，分析员仅仅是设想并且列出供选择的方案，勿须评价这些方案。

2. 选取合理的方案

应该从前述设想的一系列供选择的方案中选取若干个合理的方案，一般以选取低成本、中等成本和高成本的三种方案为宜。判断方案合理的基本依据是在问题定义和可行性研究阶段时所确定的工程目标和规模，其间还需要进一步征求客户的意见。

对每个合理的方案，分析员应提供下列四份资料：

- (1) 系统流程图；
- (2) 组成系统的物理元素清单；
- (3) 成本/效益分析；
- (4) 进度计划。

3. 推荐最佳方案

分析员应该综合分析对比各种合理方案的利弊，推荐一个最佳的方案，并且为推荐的方案制定详细的实现计划。

应当组织客户和有关的技术专家组成方案评审组，认真审查分析员所推荐的最佳系统方案，如果该系统方案确实符合客户的需要，在现有条件下完全能够实现、且具有最好的性价比，则应该提请使用部门负责人或上级主管部门审批。方案通过审批后，将进入总体设计过程的下一个重要阶段，即结构设计。

4. 功能分解

为了最终实现目标系统，必须设计出组成这个系统的所有程序和文件（或空间数据库）。对程序（特别是复杂的大型程序）的设计，通常分为两个阶段完成：首先进行结构设计，然后进行过程设计。结构设计确定程序由哪些模块组成，以及这些模块之间的关系；过程设计确定每个模块的处理过程。需要说明的是，结构设计是总体设计阶段的任务，过程设计是详细设计阶段的任务。

为确定软件结构，首先需要从实现的角度把复杂的功能进一步分解。如果一个处理功能过分复杂，必须把它的功能适当地分解成一系列比较简单的功能。一般说来，经过分解之后应该使每个功能对大多数程序员而言都是明显易懂的。功能分解导致数据流程图的进一步细化，同时还应该用 IPO 图或其他适当的工具简要描述细化后的每个处理的算法。

5. 设计软件结构

通常程序中的一个模块完成一个适当的子功能。应该把模块组织成良好的层次系统，顶层模块调用它的下层模块以实现程序的完整功能，每个下层模块再调用更下层的模块，从而完成程序的一个子功能，最下层的模块完成最具体的功能。软件结构（即由模块组成的层次结构）可以用层次图或结构图来描绘。

如果数据流程图已经细化到适当的层次,则可以直接从数据流程图映像出 GIS 软件结构。

6. 空间数据库设计

对于需要使用空间数据库的那些应用领域,分析员应该在需求分析阶段对系统的数据要求所做的分析的基础上进一步设计空间数据库。一般,数据库设计通常包括下述四个步骤:

(1) 模式设计。模式设计的目的是确定空间数据库的物理结构。实体及关系模型往往是模式设计过程的输入,模式设计的主要问题是处理具体的数据库管理系统的结构约束。

(2) 子模式设计。子模式是客户使用的数据视图。

(3) 完整性和安全性设计。

(4) 优化。主要目的是改进模式和子模式以优化数据的存取。

在 GIS 建立的过程中,空间数据库的设计和建立极其重要,空间数据库的建立往往占建设资金和时间的 70%~80%。空间数据库是 GIS 组成的核心部分,应遵循规范化、完备性、扩充性和实用性的设计原则。

建立空间数据的数据模型时要考虑以下几个方面的因素:

(1) 空间数据表示的统一性与独立性;

(2) 属性结构的统一性与独立性;

(3) 基本属性与外挂属性的确定;

(4) 数据结构的独立性;

(5) 可视化与分析应用的统一;

(6) 代码与国标码的统一与独立。

7. GIS 的网络设计

(1) InternetGIS 的提出。传统的地理信息系统主要是在单机上实现的。但是,从实际应用出发,现代 GIS 应用问题往往具有信息在地域上是分布的、在管理上呈现分布式处理的特点,这就需要分布式计算机网络的支持,实现信息系统内部的软/硬件资源共享、分布式处理、充分提高工作效率。

随着 Internet、WWW 和超媒体等技术的飞速发展,世界范围内的 Internet 环境已经形成,全球正进入一个以网络为平台的信息时代。Internet 在影响着我们未来的同时,也为基于 Internet 的地理信息系统的发展提供了新的机遇和挑战。

InternetGIS 体现了互联网技术与地理信息的完美结合,摒弃了早期 GIS 的数据处理和数据传输方式的弊端,实现了快速矢量图形和动态数据的无缝连接。InternetGIS 是基于 Browser/Server 三层结构的 GIS 应用,其核心技术是采用面向对象思想,使用网络环境下的程序设计语言编写程序。对客户来说,只需浏览器即可访问和共享网络 GIS 的资源,实现了真正意义上的操作与应用平台无关性,具有“瘦客户”的特征。GIS 技术和 Internet 技术的融合,正逐渐形成一种新的技术,我们称之为 WebGIS。与传统的基于 Client/Server 的 GIS 相比,WebGIS 有如下优点:

1) 访问范围更加广泛。客户可以同时访问多个位于不同地方的服务器上的最新数据,而这一 Internet/Intranet 所特有的优势极大地方便了 GIS 的数据管理,使分布式的多数据源

的数据管理更易于实现。

2) 平台独立性。无论服务器/客户机是何种机器, 无论 WebGIS 服务器端使用何种 GIS 软件, 由于使用了通用的 Web 浏览器, 客户就可以透明地访问 WebGIS 数据, 在本机或某个服务器上进行分布式部件的动态组合和空间数据的协同处理与分析, 实现远程异构数据的共享。

3) 降低系统成本。传统 GIS 在每个客户端都要配备昂贵的专业 GIS 软件, 而客户经常使用的只是一些最基本的功能, 这实际上造成了极大的浪费。而 WebGIS 在客户端通常只需使用 Web 浏览器 (有时还要加一些插件), 其软件成本与全套专业 GIS 相比明显要节省得多。另外, 由于客户端的简单性也节省了一定的维护费用。

4) 更简单的操作。通用的 Web 浏览器极大降低了操作的复杂性。这样, 不仅仅局限于少数受过专业培训的专业客户, 更使 GIS 为广大的普通客户所接受, 降低了对系统操作的要求, 便于广泛推广 GIS 技术及其应用。

实践证明, Internet 是传播 GIS 技术和研究成果的最佳方式和手段。Internet 和 GIS 结合成 InternetGIS 是 GIS 软件开发的必然趋势, Internet 已经成为 GIS 的新的平台。利用这种新方法, 系统空间数据和属性数据实现分布录入和维护, 保证数据的时效性、一致性、准确性和可用性, 系统管理员通过 C/S 实现对系统的管理维护, 一般的使用者和数据维护人员可通过浏览器和分布维护接口实现对数据的检索查询、制图输出、编辑修改等 GIS 基本功能, 从 WWW 的任意一个节点, 甚至非专业的 Internet 客户都可以浏览到 WebGIS 站点上的地理数据, 制作专题图件, 进行空间查询检索以及空间分析。地理空间数据的概念已经扩展为分布式、超媒体特性的、相互关联的数据, 从而使 GIS 进入千家万户。

(2) 网络设计原则。一般地, 系统在初期采用单服务器环境, 实现各业务处室的办公自动化, 包括电子邮件、字处理、中小型数据库系统以及简单图形软件的应用, 客户着重于事务处理。在后期建立多服务器环境, 增加服务器和工作站。即在服务器上运行 GIS 数据库管理系统, 在工作站上运行 GIS 应用程序。要根据需求结合现有的基础设施情况、应用情况、工作组中的业务量模式、性能需求、可管理性和控制要求以及价格等因素, 选择合适的技术方案。根据网络技术的发展情况和 GIS 应用情况, 在进行网络方案设计时主要遵循以下几个原则:

1) 成熟性和先进性。选择成熟的先进技术是组网的关键。成熟性确保投资不会因为技术上的问题而浪费, 先进性确保网络在较长的时间内能跟得上技术的发展, 不至于过早被淘汰。

2) 实用性和安全性。建立网络的目的是为了满足不同应用的需要, 因此在建网过程中, 应以应用为核心。网络是信息传输的载体和储存仓库, 它的安全性直接关系到信息的安全和网络运行的可靠性, 特别是在接入广域网时显得更为重要。

3) 开放性和扩展性。开放意味着所建立的网络体系符合有关国际标准, 其设备间的连接具有标准协议和接口, 便于和其他部门的网络互连。由于网络的投资不是一次性的, 随着时间的推移, 客户会提出更多的要求, 因此在建设时要考虑日后升级的需要, 所设计的网络要具有灵活的扩展性。

(3) 布线工程。

1) 基本概念。随着通信技术和信息产业的飞速发展,智能建筑 (IB, Intelligent Building) 中越来越多地借助于计算机、控制设备和通信设备,对建筑物的所有设备、语音交换、数据终端、网络设备、视频设备、暖通空调、消防系统、保安监控、电力系统和热力系统等进行智能化管理和控制,达到互通信息、共享资源的目的。这样多的系统和设备,其信息种类和信息分布复杂而多变,因此必须建立一套有效的布线系统,把不同的控制设备、交换设备、网络设备和计算机设备等相互连接起来。

在传统的布线系统中,语音、数据和图像等各线路之间互无联系、互不兼容,需要各种不同的电缆线和接插件,并分别进行设计和施工。这种各线路彼此独立的传统布线系统的弊端是:可靠性差;传输速率低;难以满足终端设备替换、移位及扩充等需要;线路设计复杂,实施和更新费用高,工作量大;线路管理、维护困难;此外还影响整体环境美观。因此,传统的布线系统已不能满足现代化智能建筑的需求。

2) 结构化布线。结构化布线是指建筑群内的线路布置标准化、简单化。它是一套标准的集成化分布式布线系统,是对传统布线方法的重大革新。

结构化布线系统是一种基于标准的方法,用于楼宇中数据/语音布线系统的工程设计和安装。在这方而已经发布了标准的团体有:ISO/IEC (国际标准化组织/国际电工委员会)、TIA/EIA (电信工业协会/电子工业协会) 和 CSA (加拿大标准协会) 等。

3) 布线工程基本要求。网络布线在网络系统的设计中也是很重要的,其设计方案的好坏直接影响到网络管理和日后的扩展。在布线设计时,应当遵循 PDS 设计标准,即信息中心工作区子系统的设计、水平布线系统的设计以及垂直布线子系统的设计。在设计时主要考虑满足以下几点要求:

——支持多种设备。设计较好的布线系统提供了统一标准的设备接口和接线路由,使得多种设备可以连接在一个布线系统整体之中,同时支持多种信号的传输。

——便于管理。按照 PDS 设计的网络布线在系统施工完毕之后,其线路基本不再移动,设备空间位置的调整只涉及跳线,因此在布线设计时,充分考虑和原有布线系统的平滑结合,以便于管理。

此外,还要求独立于应用、多逻辑拓扑结构、易于搬迁、扩展和变更、节约费用等。

4) 布线工程技术。在制订网络详细技术时应考虑的关键因素如下:① 使用方式,包括所有应用的混合数据流流量大小和峰值负载持续时间;② 客户的数量和可能的增长轮廓;③ 客户的位置以及他们之间的最长距离;④ 客户位置发生变化的可能性;⑤ 与当前和今后计算机及软件的连接;⑥ 电缆布线的可用空间;⑦ 网络拥有者的总投资;⑧ 法规及安全性要求;⑨ 防止服务丢失和数据泄密的重要性。

5) 布线工程基本内容。布线工程基本内容包括室外子系统、管理区子系统、垂直子系统、设备子系统、水平子系统、室内子系统等部分。

(4) GIS 网络模式。由于应用规模和实际需求不同,GIS 网络设计存在较大差别。一般分 GIS 小型快速共享局域网、中型交换式局域网、大型 ATM 企业园区网、大型千兆以太企业广域网等模式。

1) GIS 快速以太网。

——网络设计。系统主机可选择三维图形工作站或专用服务器若干台。网络设备采用 2 台 100M 多端口快速以太网交换机，选择若干台 PC 机作为客户工作站。服务器和工作站通过 100M 连接到交换机，采用星型拓扑结构，如图 4-3 所示。

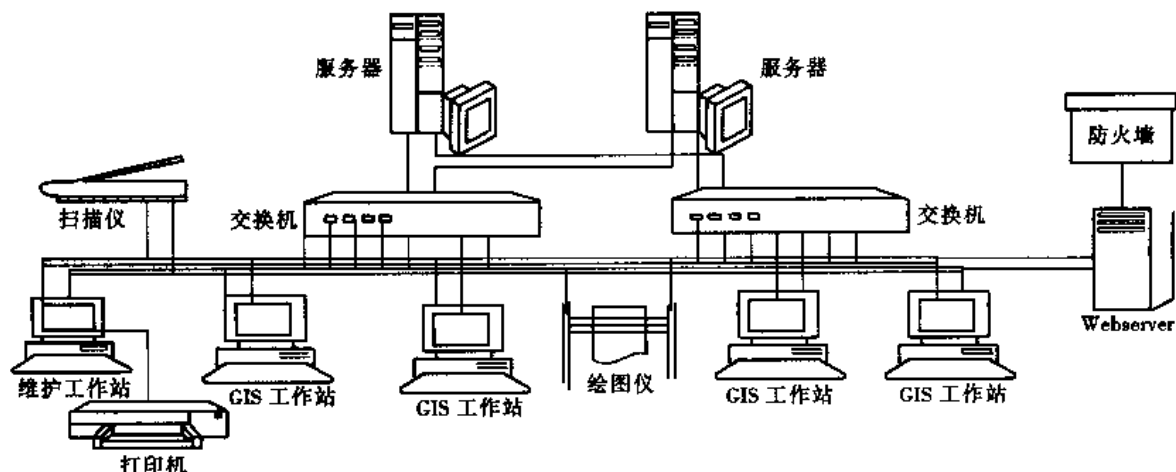


图 4-3 采用星型拓扑结构的计算机网络

系统按 C/S 或 B/S 模式运行，应用服务以服务器数据库作为后台支持。客户共享应用程序、存储空间和各种外设（包括数字化仪、扫描仪、绘图仪等），将 GIS 进程优化到网络上，实现数据输入、存储、处理及应用服务等功能，完成大型地图产品输入、编辑、输出和 GIS 各项处理功能的一体化过程。

——系统特点。简单、实用、易于建立和低成本是 GIS 网络解决方案的基本特点。但该方案的网络传输速率低，缺乏有效的管理和容错机制，只适用于上网设备较少且对实时性、安全性要求不高的部门级 GIS 应用。

2) GIS 交换以太网。

——网络设计。系统硬件包括图形工作站/服务器，PC 工作站/服务器以及扫描仪、绘图仪、网络打印机、数字化仪等各种外部设备，运行典型数据库系统和专业处理软件，如：Arc/Info、Edars、Sybase 等分布式应用软件，可进行实时监测、快速反应等 GIS 应用。

在网络设计实施过程中，将网络资源按照其性能、用途划分为若干个子网，网络中心采用路由式交换机，连接若干二级交换机或集线器，构成网络主干。主服务器、图形工作站等设备直接接入中心交换机。前端 PC 机及网络打印机、绘图仪、扫描仪等分别通过二级交换机或集线器构成独立的 10M 或 100M 交换子网，再连到中心交换机上，如图 4-4 所示。

一般要求中心交换机可扩展性好，速率高，支持第三层交换与 IP 路由，虚拟网划分（VLAN），交换能力可满足大型 GIS 应用传输要求。为确保网络中枢安全性，应提供冗余电源、后备模块甚至 CPU 处理单元，所有模块均可带电更换。

——系统特点。采用先进的快速交换以太网技术，大幅度提高网络主干速度实现 VLAN 划分、智能管理、安全容错机制；网络资源多样，包括 Unix 工作站/服务器、NT 工

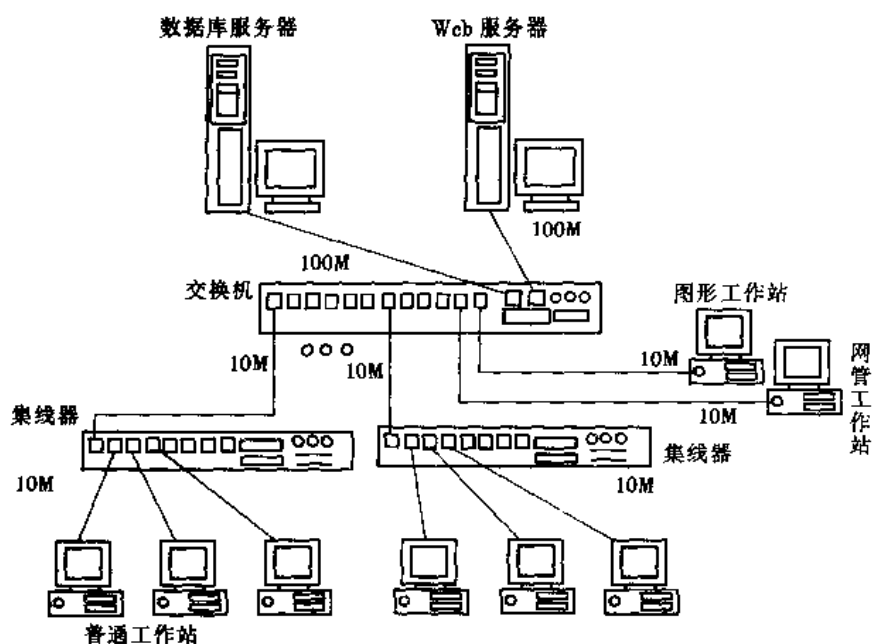


图 4-4 采用二级交换机的计算机网络示意图

工作站/服务器以及各种外部设备的互连。

3) GIS ATM 企业网。中、大型网络 GIS 的设计目标是建立一个企业级骨干网络，方案设计一般可采用 ATM 组网技术或千兆以太网技术，将分布在几平方公里范围内的若干座办公楼的局域网连接起来，组成分布式信息处理系统，为工程技术/管理人员构造高速率、高可靠性的计算环境，提供办公自动化服务和辅助决策支持，从而实现海量数据的高速传输，包括图形、图像以及语音、视频等多媒体信息，具有高度可靠性；具有实用性和先进性，方案所涉及的技术、产品应具有先进成熟、稳定可靠、经济实用的特点，遵循开放原则，符合国际标准，具备灵活方便的网络连接及升级能力，有利于技术更新，动态保持最佳的性能价格比；提供安全的应用环境，良好的网络管理和可维护性，具有广泛的网络服务功能。

——网络设计。ATM 技术支持新一代数据传输服务，包括图形、图像、视频影像、CATV 等各种多媒体产品；可提供语音、数据、影像的统一传输，动态分配带宽，适应不同传输服务的需要；可进行广域网、局域网的统一传输，避免传统服务中协议不一致而造成的传输困难；具有固定长度的传输单元，允许足够的信息在同一链路传输，延迟较低。

为使以太网不经改变直接连接到 ATM 上，网络采用 ATM 技术与局域网仿真技术相结合的方案，网络中心采用 ATM 中心交换机。中心交换机是高性能骨干插槽式交换机，提供 ATM 连接、LAN 仿真服务及智能化网络管理，插入不同模板可以连接不同网络，如 FDDI、快速以太网、令牌环、千兆以太网等。通过 ATM 中心交换机连接多台以太 ETHERNET/ATM 交换机到各个子网，构成整个企业网的主干，再通过二级交换机实现 ATM 到以太网的过渡方案——局域网仿真桌面或直接到 ATM 桌面。网络中心配置网管工作站和中心服务器，利用专门的网络管理软件管理整个网络并实现 VLAN 的划分，各子网可有自己的服

务器资源。工程布线上，楼宇之间一般采用光纤连接，楼内采用超 5 类数据线。软件应当采用支持多服务器的网络操作系统和网络数据库系统，如图 4-5 所示。

——系统特点。网络产品的选择遵循高效率与可靠性原则，采用多模光纤作为通信介质，保障高质量传输效果；图形化方式管理、监控整个网络状态；连接性和扩充性强，确

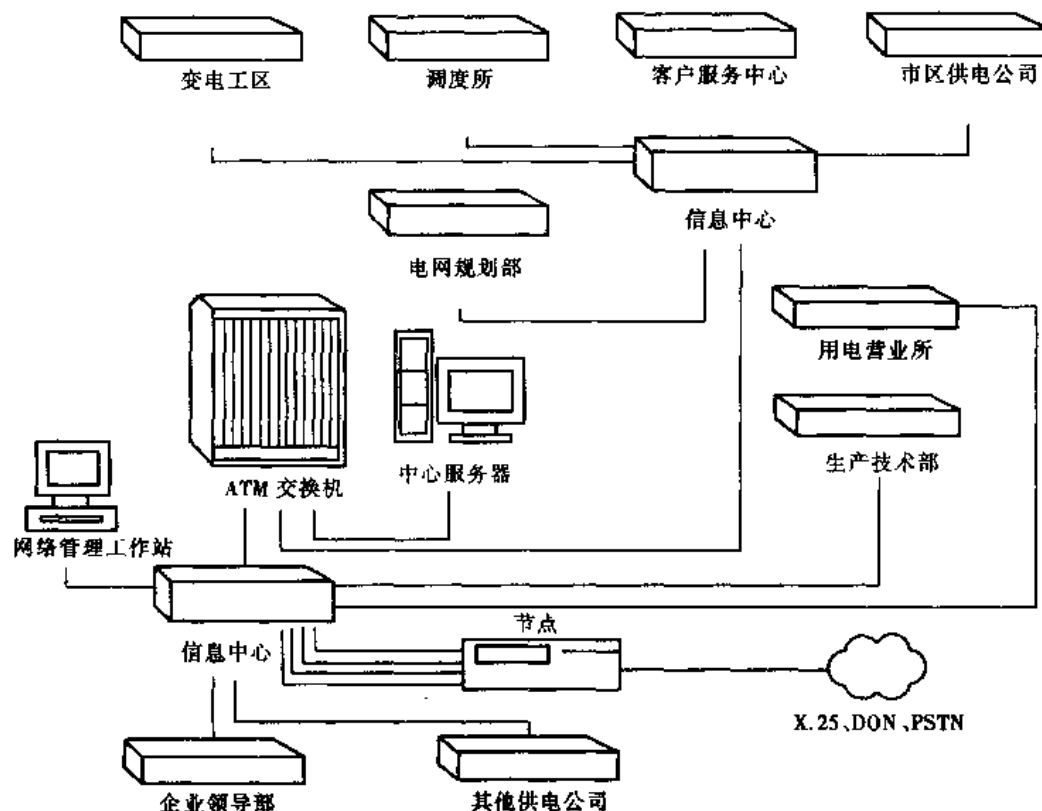


图 4-5 采用 ATM 技术的计算机网络拓扑示意图

保连入本网的任何节点之间的数据交流通畅，共享文档、数据、硬件等资源；模块化设计，可根据客户要求自由配置，升级简便易行，只要插入新的模块即可。由于采用星型布线和交换路由技术，在扩大业务时，布线系统不做改动，能充分保护已有投资，适应未来不断增长的需求。

4) GIS 千兆企业网。千兆以太网是在传统以太网基础上发展起来的，它具有支持千兆以太网的第 3/4 层交换、多媒体应用、灵活的网络拓扑结构、多链路负载分享、基于标准的虚拟网等特点，克服了传统以太网的一些不足，加之可实现与现存大量的百兆以太网的无缝连接，极大地增强了以太网的功能。

——网络设计。中心交换机采用 1 台以上千兆骨干交换机，骨干交换机下联多台千兆/百兆二级以太网交换机，构成千兆网主干，以满足大量 GIS 图形数据的高速传输及多媒体应用的性能要求；其光纤介质抗电磁干扰、无泄漏，具有强保密性；可兼容普通交换以太网，保证投资的连续性。对于某些有大量数据传输要求的客户节点（图形工作站和网管工作站）通过中心交换机直接接入千兆光纤主干网，对于一般节点通过二级甚至三/四级交换机进入主干网，获得 10M/100M 的传输速率。各传输信道可以通过交换机/配线架随意

改变在楼内的物理分布，以适应信息中心和各业务节点对快速信道的要求。同 ATM 网络一样，网络中心配置网管工作站和中心服务器，具有专门的网络管理软件，管理整个网络并实现 VLAN 的划分，各子网可有自己的服务器资源。工程布线上，楼宇之间一般采用光纤连接，既主干网采用光纤，楼内采用超 5 类数据线。软件亦应当选择支持多服务器的网络操作系统和网络数据库系统。此外，支持远程拨号服务。如图 4-6 所示。

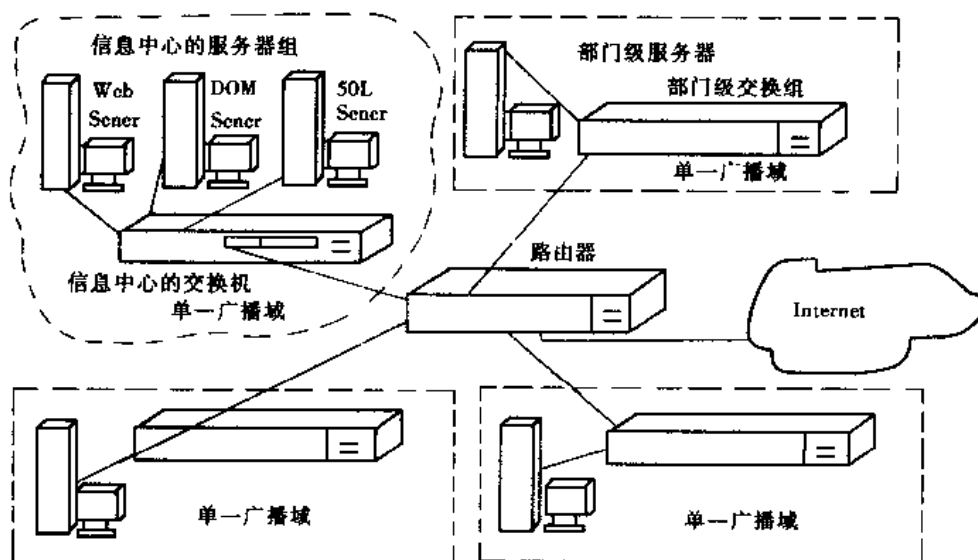


图 4-6 以路由器为核心的多广播域网络主干结构

——系统特点。整个系统是由网络中心服务器、信息中心局域子网、各业务部门局域子网组成的分布式联机事务处理综合性广域网络系统，通过千兆以太主干网提供高速数据传输服务，以满足 GIS 特殊处理的需要，实现网络中心与各局域子网的数据共享与业务交互，通过远程拨号接入向广大客户提供远程 GIS 信息服务。

8. 制订测试计划

在 GIS 开发的早期阶段考虑测试问题，能促使 GIS 设计人员在设计时注意提高软件的可测试性。关于如何制定测试计划以及软件测试的其他步骤和内容，将在 4.7 节中进一步介绍。

9. 书写文档

应该用正式的文件记录总体设计的结构，在这个阶段应该完成的文档通常有以下几种：

(1) 系统说明。主要包括系统流程图描绘的系统构成方案，组成系统的物理元素清单，成本/效益分析；对最佳方案的概括描述，精确细化的数据流程图，用层次图或结构图描绘的软件结构，用 IPO 图或其他工具（例如，PDL 语言）简要描述的各个模块的算法，模块间的接口关系，以及需求、功能和模块三者之间的交叉参照关系等。

(2) 客户手册。根据总体设计的结构，修改更正在需求分析阶段产生的初步的客户手册。

(3) 测试计划。包括测试策略、测试方案、预期的测试结构、测试进度计划等。

(4) 空间数据库设计。包括空间数据库和属性数据库的设计。应当根据拟建 GIS 工程的数据源和数据处理要求, 合理设计数据结构。一般, 除模式、子模式以及对数据库的性能要求外, 还应考虑数据库的划分和数据库 (或数据子库) 之间的关系以及它们对 GIS 应用服务功能的支持。

此外, 为确保数据库的可用性和高效使用, 应该定义相应的元数据, 这种元数据可称为空间元数据。空间元数据是描述空间数据的数据, 包括空间数据的内容、质量、条件和其他特征。空间元数据可以分为两大类: 一类是管理元数据, 它是对元数据内容、主题、数据转换及各种操作信息的描述; 另一类是客户元数据, 它帮助客户查询空间信息、理解信息、了解这些数据的组织方式等。

空间元数据相当于传统数据库系统中的数据字典, 但它们之间又存在较大区别, 空间元数据在 GIS 应用中是数据交换的基础, 在空间数据使用中发挥着重要作用, 也是保证数据长期有效的基础。

随着 GIS 向多媒体、网络化发展, 对空间元数据标准的需求正逐步由传统的字符型和数值型扩展到多种媒体类型和各部门或领域共享的数据, 各个专业的数据格式向公共开放标准的元数据交换格式转换。

10. 审查和复审

最后应该对总体设计的结果进行严格的技术审查, 在技术审查通过之后再由使用部门的负责人从管理角度进行复审。

4.4.3 设计原则与方法

GIS 软件设计过程中应当遵循的原则与方法是:

1. 模块化

按照一定的原则将软件划分成若干个模块, 每个模块完成一个特定的功能, 然后把这些模块按照某种方法组装成一个软件系统。

2. 抽象化

在解决问题的过程中, 考虑与当前问题有关的方面, 而忽略与当前问题无关的方面; 在软件上要反映出以下两个方面:

(1) 数据抽象: 定义了数据类型和施加于该类型对象的操作, 并限定对象的值只能通过这些操作查看和修改;

(2) 过程抽象: 任何一个完成明确定义功能的操作都可被当作单个实体看待, 尽管这个操作可能由一系列更低级的操作完成。

3. 信息隐蔽

隐蔽功能实现的细节, 即在设计和确定模块时, 如果一个模块内包含的信息 (过程、数据) 不允许外部模块访问, 则其他模块是不能访问的, 也就是所谓的“信息隐蔽”原则。

4. 模块独立性

一个模块和其他模块的独立程度是评价一个设计好坏的重要依据 (质量尺度), 也是

保证 GIS 软件质量的一个关键因素。这是因为，具有独立功能模块的软件容易开发，容易理解，容易修改。

而衡量模块独立性有以下两个方面：

(1) 内聚。块内联系，模块内部各成分之间相互关联的程度。软件设计时，追求的目标是高内聚。内聚的类型包括：

- 1) 偶然内聚：一个模块各成分之间毫无联系，可理解性、修改性差。
- 2) 逻辑内聚：将几个逻辑上相关的功能放在同一个模块中。
- 3) 时间内聚：将同一时间内执行的功能放在同一个模块中。
- 4) 过程内聚：一个模块内部处理成分是相关的，并且必须以一定次序执行。
- 5) 通信内聚：一个模块的所有成分都集中在同一个数据结构上。
- 6) 顺序内聚：一个模块的各成分都与同一个功能密切相关，且一个成分的输出作为另一个成分的输入。
- 7) 功能内聚：模块的所有成分属于一个整体，完成单一功能，模块内包含且仅包含完成某个功能所必需的所有成分。

(2) 耦合。块间联系是模块之间依赖程度的度量。GIS 软件设计时，追求低耦合，而耦合的强度依赖于以下几个因素：①一个模块对另一个模块的调用；②一个模块向另一个模块传递数据；③一个模块对另一个模块施加控制。

耦合的程度可分为无耦合、松散耦合、紧密耦合。

耦合的分类如下：

- 1) 内容耦合：一个模块直接操作或修改另一个模块的数据。
- 2) 公共耦合：两个或多个模块通用或共同引用一个全局数据环境引发的相互作用。
- 3) 控制耦合：模块之间通过传递控制信息相互作用。
- 4) 标记耦合：两个模块之间通过传递公共指针相互作用。
- 5) 数据耦合：模块之间通过传递参数交换信息，而且交换的仅是数据。
- 6) 非直接耦合：模块之间没有任何关系。

模块划分的总体原则是：高内聚、低耦合。首先设计相对独立功能的模块，其次模块之间传递参数尽量用数据，模块之间共享信息尽量少。

5. 启发式规则

目的：改善软件结构，提高软件质量。

(1) 改进软件结构，提高模块独立性。首先设计出软件的初始结构，评价该结构，通过模块分解、合并，力求降低耦合提高内聚。

(2) 模块规模应该适中。经验证明：一个模块的规模不应过大，模块过大往往分解不充分，过小则开销过大。

(3) 模块结构的深度、宽度、扇入、扇出应适中。深度：软件结构中控制的层数，深度过大应考虑是否可以适当合并；宽度：结构中一个层次中的模块总数；扇出：一个模块直接控制（调用）的下级模块的数目；扇入：一个模块有多少直接调用它的上级模块数。一般好的软件结构，顶层扇出比较多，中层扇出比较少，底层扇入比较多。

(4) 一个模块的作用域(范围)应处在这个模块的控制域(范围)内。

1) 作用域:是该模块内一个判定条件所影响的所有模块的集合。

2) 控制域:是这个模块本身以及所有直接或间接从属于它的模块的集合,理想的结构是所有受判定条件影响的模块应该从属于做出判定的那个模块,最好局限于它本身和它的直接下级模块。具体做法:在得到软件的初步结构后,要仔细分析有判定条件的模块,看看这些模块的影响范围是否超出本模块并找出受此判定影响的其他模块,找到以后,判定这些模块是否包含在该判定模块的控制域内,再看这些模块在层次上是否靠近本模块。两种改进方法:将判定点上移到足够高的位置(判定模块与上级模块合并)或者将那些在作用域内但不在控制域内的模块移动到控制域内。

(5) 力争降低模块接口的复杂性,做法是使得传递的信息尽量简单,并与模块的功能一致。

(6) 模块的功能应该可以预测。

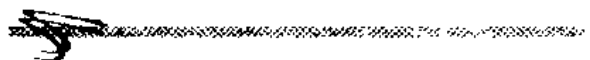
6. 设计优化

转换为尽可能高的内聚和尽可能低的耦合。

7. 重要文档

软件设计文件、总体设计阶段的文件、软件设计说明书等。

4.5 详细设计



4.5.1 概述

所谓详细设计(即模块设计)是指,根据模块结构图对其中每个模块给出过程属性的描述,即算法设计。详细设计阶段的根本目标是确定应该怎样具体地实现所要求的系统,也就是说,经过这个阶段的设计工作,应该得出对目标系统的精确描述,从而在编码阶段可以把这个描述直接翻译成用某种程序设计语言书写的程序。同时,详细设计还包括各种空间数据库的结构设计,以便于建库。

详细设计阶段的任务还不是具体地编写程序,而是要设计出程序的“蓝图”,以后程序员将根据这个蓝图写出实际的程序代码。因此,详细设计的结果基本上决定了最终的程序代码的质量。

详细设计与总体设计的区别与联系是:总体设计阶段,数据项和数据结构以比较抽象的方式描述,而详细设计则是确定用什么样的数据结构来实现;详细设计要提供关于算法的更多的细节,使程序员能够以相当直接的方式编码每个模块。所以,详细设计是以总体设计为基础的。

详细设计阶段的主要任务是:详细的算法、数据表示和数据结构设计以及实施的功能与使用的数据之间关系的确定等。具体内容包括:

(1) 数据库设计。基于数据流程图分析建立的系统逻辑模型,进行数据结构设计,确定数据库的详细结构,建立空间数据与属性数据连接关系。一般 GIS 开发平台软件提供数

据库管理系统（如 Arc/Info），具体设计时可根据平台软件要求对空间数据库的结构进行分析设计。空间数据库设计主要是数据分层、要素属性定义、属性编码、空间索引建立等。

(2) 数字化方案设计。数据采集方式（如数字化，图像扫描等）的选择，应根据图形数据在系统中所发挥的作用，如作为背景定位、提供信息查询、参与空间分析等，确定相应的数字化方案，根据需求功能和数据库组织的要求决定要素的选取与分层，确定数字化中要素关系处理的策略，规定数字化精度要求，规定作业步骤，制定质量检查方案。

(3) 系统详细功能的细化与设计。客户需求分析阶段定义了大量的需求功能，该阶段对这些功能具体化。功能是在一定数据上实施的，先考查该功能所要求的数据能否提供（即数据的可获得性），精度能否达到要求（即数据的可用性），如果不能，该需求功能将被取消，或推迟到后期工程完成。另外要充分考虑 GIS 开发软件实现该功能的难易程度，若实现难度较大，可考虑推迟到软件升级功能完善之后再实现。

(4) 菜单、界面、图形显示设计。GIS 是视觉产品，要求给客户id提供美观、友好、简单、直观的界面环境。图形显示的背景、专题内容、图例、图表、文字说明以及符号颜色与平面布局要有体系，这方面的设计可参考地图学中的图面设计和符号设计的有关内容。

(5) 系统安全性设计。要充分考虑系统的安全性，对客户分类，规定各类客户的操作级别，设计不同数据的访问权限，建立系统运行事务跟踪记录历史文件。

4.5.2 结构化程序设计

结构化程序设计是详细设计的核心技术和逻辑基础。结构化程序设计的概念是 E·W·Dijkstra 1965 年提出的。其基本思想是：采用三种基本控制结构（顺序、选择、循环）；任何程序模块均采用单入口，单出口结构；程序中尽量避免使用 GOTO 语句；自顶向下、逐步求精的程序设计原则。其目标是使详细设计的结果能够直接转换为编程语言所表示的程序。

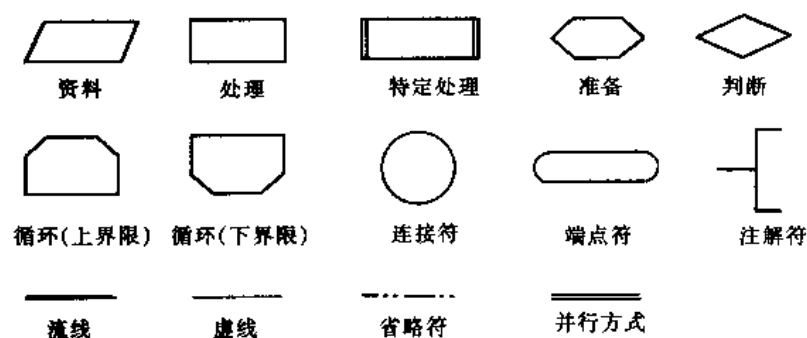


图 4-7 程序流程图常用的表示符号

4.5.3 程序流程图

所谓程序流程图就是程序框图，其优点是直观形象，易于理解，便于初学者掌握。缺点在于：首先使程序员过早地考虑程序的控制流程，而忽略了考虑全局结构；其次是箭头

的使用往往是一种隐患；三是只表示流程，不表示数据结构。如图 4-7 所示为程序流程图常用的表示符号。

4.5.4 N-S 图

N-S 图又称为盒图，是一种详细设计工具，用图形的方法描述处理逻辑，以一种结构化的方式，严格限制一个处理到另一个处理的控制转移。因此，用 N-S 图描述的处理逻辑一定是结构化的，其基本符号如图 4-8 所示。

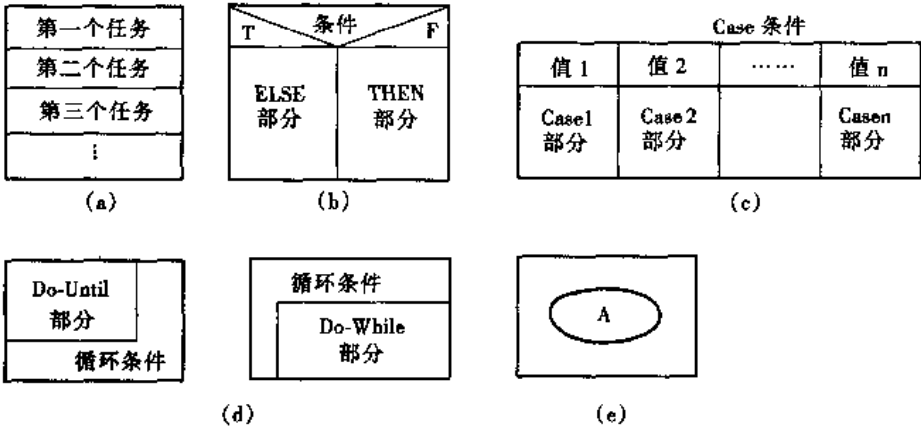


图 4-8 盒图的基本符号

(a) 顺序；(b) IF-THEN-ELSE 型分支；(c) CASE 型多分支；(d) 循环；(e) 调用子程序 A

N-S 图的优点是：形象直观，简单易学，完全按照结构化程序设计方法进行思考，保证了程序质量；缺点则是修改困难。

4.5.5 PAD 图

PAD 图又称为问题分析图，用二维树形结构图表示程序的控制流，这种图可以方便地转换为程序代码，其基本符号如图 4-9 所示。

PAD 图的优点是：所设计的程序一定是结构化的；程序结构十分清晰；表示的逻辑易读、易懂、易记；可由软件自动完成将图转换为高级语言源程序；既可表示程序逻辑，又可用于描述数据结构；支持自顶向下、逐步求精方法的使用。

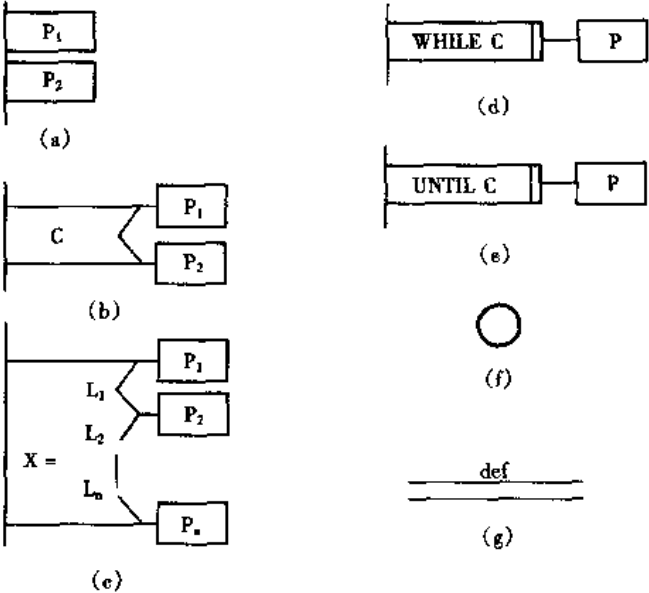


图 4-9 PAD 图的基本符号

(a) 顺序(先执行 P_1 后执行 P_2)；(b) 选择(IF C THEN P_1 ELSE P_2)；
(c) CASE 型多分支；(d) WHILE 型循环(WHILE C DO P)；
(e) UNTIL 型循环(REPEAT P UNTIL C)；
(f) 语句标号；(g) 定义

4.5.6 类程序设计语言

类程序设计语言是用正文的形式

表示数据结构和处理过程的设计工具，是一种混合语言，既有严格的关键词处理语法用于定义控制结构和数据结构，又使用一种自然语言的词汇灵活自由地表示实际操作和限定条件。

类程序设计语言的特点是：关键词的固定语法，提供结构化控制结构、数据说明和模块化的手段；自然语言的自由语法，用于描述处理过程和判定条件；数据说明的手段，既包括简单的数据结构，又包括复杂的数据结构；模块定义和调用的技术，提供各种接口描述模式。

其优点是：可以作为注释直接插在源程序中间；可以使用普通的正文编辑程序或文字处理系统方便地完成书写和编辑；可以自由转换。主要缺点是不形象。

此外，详细设计的工具还有 IPO 图、判定树、判定表等。

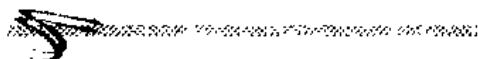
4.5.7 详细设计文档——详细设计说明书

详细设计阶段还要形成详细设计说明书。编写详细设计说明书，目的是尽可能详细地说明软件所包含的程序中各成分的设计考虑和空间数据库的结构明细，以便于程序员编制程序和建库人员顺利实施空间数据库的建设。

主要包括：

- (1) 对程序进行总体（整体）描述；
- (2) 详细说明程序的运行环境；
- (3) 说明程序运行的过程；
- (4) 详细描述程序的输入输出、数据环境以及程序的逻辑；
- (5) 空间数据库的分类和详细结构定义；
- (6) 属性数据库的结构定义；
- (7) 其他辅助文档和资料的分类、组织方法等。

4.6 编 码



4.6.1 基本概念

编码是在详细设计阶段的基础上进行的。作为软件工程的一个步骤，编码是详细设计的自然结果。目前，人和计算机通信的主要方式仍然是程序设计语言。所谓编码就是把软件设计的结果翻译成计算机可以“理解”的形式——用某种程序设计语言书写的程序。编码的目的就是实现人和计算机的通信，指挥计算机按人的意志正确地工作。

编码的主要任务是：根据详细设计阶段所给出的程序逻辑结构的描述，运用某种语言，按照编码规范写出高质量的具有一致性、可移植性、易维护性、高效率的程序代码。

GIS 程序的质量主要取决于软件设计的质量、所选择的程序设计语言的特性、编码的风格等因素；程序设计语言的特性和编码途径也会对程序的可靠性、可读性、可测试性和可维护性产生深远的影响。

编码的基本要求是编程的方法应该简便易学、编程效率高、选取好的编程工具等。

程序设计语言是人和计算机通信的最基本的工具，程序设计语言的特性不可避免地会影响人的思维和解决问题的方式，会影响人和计算机通信的方式和质量，也会影响其他人阅读和理解程序。因此，编码之前的一项重要工作就是选择一种适当的程序设计语言。现有的程序设计语言大致上可以分为机器语言、汇编语言和高级语言（包括超高级语言）三大类。机器语言用 0、1 代码构成，直接面向机器，无需翻译，可直接运行，因此机器语言执行速度快，但使用极不方便，兼容性差，尚没有使用机器语言进行 GIS 开发的。而使用汇编语言编码需要把软件设计翻译成机器操作的序列，由于这两种表示方法很不相同，因此汇编程序设计既困难又容易出错。而高级语言是一种近似英语的程序设计语言。一般说来，高级语言的源程序语句和汇编代码指令之间有一句对多句的对应关系。统计资料表明，程序员在相同时间内可以写出的高级语言语句数和汇编语言指令数大体相同，因此，用高级语言写程序比用汇编语言写程序的效率可以提高好几倍。用高级语言写的程序容易阅读，容易测试，容易调试，容易维护。

高级语言本身是随着软件技术的发展而逐步发展的。如 C、PASCAL、FORTRAN 等语言主要适应于结构化程序设计方法。结构化的编程概念对编程语言产生了极大的影响。Dijkstra 建议限制 GOTO 语句的使用。因此，对于结构化的程序，现代的编程语言支持三种控制结构（顺序、选择和循环）。模块化概念通过将程序开发任务分成较小的、易于管理的模块，在很大程度上降低了程序的复杂度。

以前，由于编程人员必须编写文本代码来实现接口以及接口行为，因此开发图形客户接口（GUI）代码很困难。采用 Visual Basic、Visual C++ 等面向对象的可视化编程语言以及 GIS 基础软件平台所提供的二次开发语言可大大降低 GUI 的开发强度。

随着分布式数据库技术和计算机网络技术的不断发展，计算机网络编程语言应运而生，如 Java 语言。Java 语言是一种面向对象的、多线程的网络编程语言，利用 Java 编制 GIS 程序，消除了诸如指针和重载的问题，也显示了编程语言的简练性，同时仍能提供各种丰富的语言功能，以便实现不同的任务，可广泛地用于网络 GIS 应用系统的软件设计与应用开发。

4.6.2 软件开发工具选择

软件生产的主要工具是软件开发平台。在软件需求分析的同时，就要考虑到这类软件开发环境的创造。它应满足下列要求：

- (1) 它的组成、结构、性能、功能和工作的方式与状态，力求切合实际系统的需要。
- (2) 配备多媒体工作站（即图形工作站），提供软件测试过程中综合信息的显示和真实环境中的仿真效果。
- (3) 具备实时或准实时数据的采集、编辑及入库功能。
- (4) 能支持实时与非实时两种运行方式的调试活动。

软件开发平台是辅助软件调试、测试、试验和验证的重要工具。在某种程度上可以得出这样的结论：没有好的软件开发平台就不能高效顺利地开发出实用的 GIS 软件。以下是

选择软件开发平台的实用标准:

(1) 系统客户的要求。如果所开发的系统由客户负责维护, 客户通常要求用他们熟悉的语言编写程序。

(2) 可以得到的软件工具。如果某种语言有支持程序开发的软件工具可以利用, 则目标系统的实现和验证都变得比较容易。

(3) 工程规模。如果工程规模很庞大, 现有的语言又不完全适用, 那么正确地选择并实现一种供这个工程项目专用的程序设计语言, 也可以是几种语言的混合使用。

(4) 程序员的知识。虽然对于有经验的程序员来说, 学习一种新语言并不困难, 但是要完全掌握一种新语言需要实践。如果和其他标准不矛盾, 那么应该选择一种已经为程序员所熟悉的语言。

(5) 软件可移植性要求。如果目标系统将在几台不同的计算机上运行, 或者预期的使用寿命很长, 那么应该选择一种标准化程度高、程序可移植性好的语言。

(6) 软件的应用领域。所谓的通用程序设计语言实际上并不是对所有应用领域都适用, 例如, FORTRAN 语言特别适合于工程和科学计算, COBOL 语言适合于商业领域应用, C 语言和 Ada 语言适用于系统和实时应用领域, LISP 语言适用于组合问题领域, PROLOG 语言适于表达知识和推理 VC++ 适合于可视化及面向对象编程, Java 适合于跨平台应用。因此, 选择语言时应该充分考虑目标系统的应用范围和特点。若是分布式 GIS 则应当考虑选择 Java 这样一类面向对象的、多线程的网络编程语言。

4.6.3 GIS 组件技术和网络编程设计方法

随着 GIS 应用的发展和应用领域复杂程度的不断加深, GIS 软件设计方法也在不断的进步, 先后经历了自顶向下模块化设计方法、面向对象的开发技术、软件复用、多线程网络编程技术、群件、中间件以及组件技术等。这些方法均有其优缺点和不同的应用领域。这里不再讨论, 有兴趣的读者可参阅有关专门书籍。

以下主要介绍 GIS 组件技术和网络编程设计方法。

1. 软件组件技术

(1) 组件技术的特点。软件组件技术 (Software Component Technology) 是指应用系统中可以明确辨识的构成成分。组件的概念已不再局限于源代码构件, 而是延伸到需求、系统和软件的需求规约、系统和软件的构架、文档、测试计划、测试案例和资料以及其他对开发活动有用的信息, 这些信息都可以称为软件组件。基于组件技术的 GIS 工具具有传统 GIS 工具无法比拟的优点。

1) 小巧灵活、价格便宜。在组件模型下, 各组件都集中地实现与自己最紧密相关的系统功能。组件化的 GIS 平台集中提供空间数据管理能力, 并且能以灵活的方式与数据库系统连接。在保证功能的前提下, 系统表现得小巧灵活, 而其价格仅是传统 GIS 开发工具的 1/10, 甚至更少。这样, 客户便能以较好的性能价格比获得或开发 GIS 应用系统。

2) 直接嵌入 MIS 开发工具。组件的生产建立在严格的标准之上, 因此, 凡符合标准的组件都可在目前流行的各种开发工具上使用。这样, VB、VC、Delphi、PowerBuilder、

Notes、Foxpro、Access 等都可直接成为 GIS 或 GMIS 的优秀开发工具, 它们各自的优点都能够得到充分发挥。这与传统 GIS 专门性开发环境相比, 是一种质的飞跃。

3) 强大的 GIS 功能。新的 GIS 组件都是基于 32 位系统平台的, 采用直接调用形式, 所以无论是管理大数据的能力还是处理速度方面均不比传统 GIS 软件逊色。

4) 开发简捷。由于 GIS 组件可以直接嵌入 MIS 开发工具中, 对于广大开发人员来讲, 就可以自由选用他们熟悉的开发工具。而且, GIS 组件提供的 API 形式非常接近 MIS 工具的模式, 开发人员可以像管理数据库表一样熟练地管理地图等空间数据, 勿须对开发人员进行特殊培训。这将使大量的 MIS 开发人员能够较快地过渡到 GIS 或 GMIS 的开发工作中, 从而极大地加速 GIS 的发展。

(2) 组件式 GIS 开发平台的结构。组件式 GIS 开发平台通常可设计为三级结构:

基础组件——面向空间数据管理, 提供基本的交互过程;

高级通用组件——面向通用功能;

行业性组件——抽象出行业应用的特定算法, 固化到组件中, 进一步加速开发过程。

下面具体介绍全组件式 GIS 开发平台三级结构的组成。

1) 基础组件。处于平台最低层, 是整个系统的基础, 主要面向空间数据管理, 提供基本的交互过程, 并能以灵活的方式与数据库系统连接。

2) 高级通用组件。高级通用组件由基础组件构造而成。它们面向通用功能, 简化客户开发过程, 如显示工具组件、选择工具组件、编辑工具组件、属性浏览器组件等等。它们之间的协同控制消息都被封装起来。这级组件经过封装后, 使二次开发更为简单。如一个编辑查询系统, 若用基础平台开发, 需要编写大量的代码, 而利用高级通用组件, 几条程序就够了。

3) 行业性组件。以 GPS 监控为例。对于 GPS 应用, 除了需要地图显示、信息查询等一般的 GIS 功能外, 还需要特定的应用功能, 如动态目标显示、目标锁定、轨迹显示等。这些 GPS 行业性应用功能组件被封装起来后, 开发者的工作就可简化为设置显示目标的图例、轨迹显示的颜色、锁定的目标, 以及调用、接收数据的方法等。

2. 网络 GIS 程序设计

所谓网络 GIS 就是基于 WWW 和 Internet 技术的地理信息服务与管理系统。即将传统的 GIS 技术与 Internet 技术相结合, 通过统一的浏览器接口, 利用 Internet 访问位于不同地点、不同类型的地理信息资源, 为地理信息的资源共享、本地化服务及分布式合作开发奠定基础, 从而进一步增强地理信息服务部门或单位的网上竞争力。

网络 GIS 的程序设计主要采用面向对象技术和分布式软件开发技术。网络化程序设计工具为开发者提供一系列 GIS 和制图功能, 包括各种控件和可编程的组件。这些组件为开发者提供了强大的 GIS 功能, 它支持多种开发环境, 如 VB、Delphi、VC、Power Builder 等, 具有强大的灵活性, 可充分利用客户机/服务器体系结构。

对于客户数量较多、图形资料量大、主要在本部门局域网中运用的功能模块采用客户机/服务器体系进行软件开发。数据库系统及各种信息安装在服务器端, 功能响应在客户端进行, 这样可充分发挥客户端的软硬件资源, 使得图形操作更加快速。同时, 将数据安

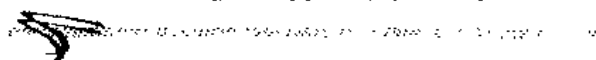
装在后台服务器，通过采取一些安全措施，可保证数据的一致性和安全性。

现代网络 GIS 的客户接口都是面向 WWW，即 Web 接口。Web GIS 服务器程序的研制是在主页中，通过 URL 超链接，向 Web 服务器发出请求，Web 服务器收到请求后，将参数交由服务端服务程序，调用相应的 GIS 功能，生成处理结果，然后转换成 GIF 或 JPEG 图像格式，以 HTML 格式，通过 HTTP 协议，发送给客户端的浏览器显示有关内容。新型的网络 GIS 软件也支持在客户端显示矢量形式的空间数据。

在浏览器端的主要功能有：地理图形的动态缩放；图形及属性信息的查询与统计；授权用户对数据实施的更新等。

开发网络 GIS 必须注意：由于网络 GIS 涉及的信息量及高新技术较多，加上 GIS 技术、Internet 技术等飞速发展，一方面，为地理信息系统的发展提供了更为广阔的应用领域，另一方面，也使得当今地理信息系统的开发更加复杂。应当进一步完善 GIS 软件体系，开发面向客户的图形数据库输入系统；根据各种客户的需求，面向专题问题，开发相应的智能辅助决策软件等；丰富客户操作图形的方式，研制一些应用模型组件，实现模型决策的分布式处理和模型可视化；进行 Internet 数据库系统的开发，使得环境属性数据也能够高度共享等。

4.7 软 件 测 试



4.7.1 软件测试的必要性

计算机技术已经越来越广泛地应用于国民经济和国防建设的各个部门，尤其在航天、航空、核能、通信、交通、金融等一些关键领域中，计算机的作用更加至关重要，同时，人们对计算机软件的可靠性和安全性也有严格的要求。近年来，由于软件错误而造成经济损失、导致严重后果的事例屡见不鲜。如 1996 年 6 月 4 日，欧洲航空航天局耗资 67 亿美元研制的 Ariane 501 火箭在首次飞行试验中，点火后仅 37s 即在空中爆炸，调查分析后认为，灾难是由惯性制导系统软件中的一个简单的错误引起的。

因此，如何保证软件产品的质量和可靠性就成为必须解决的一个重要问题，而软件测试便是保证软件质量的一个重要手段。

4.7.2 软件测试目标

从软件生存周期看，软件测试主要是保证软件质量，尤其是确保最后阶段提交客户的软件的可靠性；但软件测试并不仅仅局限于这个阶段，而应贯穿于 GIS 软件开发的全过程。会产生错误的阶段是在需求说明、设计和编程过程中。这些错误若不排除，均会传递到测试阶段，甚至会传递到使用阶段，这种错误的传递还具有放大效应。

利用测试技术测出问题进行故障分类、故障隔离和故障消除等步骤，直到获得满意的测试结果为止。目标要求严格的系统应当进行广泛深入地测试，以确保系统的正常运转。

当然，软件测试在软件生命周期中主要横跨两个阶段。一是在编写出每个模块之后就

对它做必要的测试（称为单元测试），模块的编写者和测试者是同一个人（组），此时编码和单元测试属于软件生命周期的同一个阶段；在这个阶段结束之后，对软件系统还应该进行各种综合测试，这是软件生命周期中的另一个独立的阶段，通常由专门的测试人员承担这项工作。

测试的主要目的是：①对软件的质量或可接受性作出判断；②发现问题。

软件测试要求在测试过程中，采集软件可靠性资料，并利用软件可靠性模型进行可靠性评估，分析其是否达到了预期的可靠性要求，并据此作出该软件能否投入运行的决断。若不满足要求，需继续进行测试，直到满足要求为止。

好的测试方案应当尽可能多地发现迄今为止尚未发现的错误；成功的测试是发现了迄今为止尚未发现的错误的测试。

4.7.3 软件测试方法

随着软件开发技术的不断发展，面向对象技术、软件重用技术以及网络和 Internet 的广泛应用等都对软件测试技术提出了新的挑战和要求。目前针对新的软件开发技术开展的软件测试技术研究包括针对面向对象技术、Internet 结构、Java 语言、自动生成软件等软件测试技术的研究。

尽管软件测试技术在不断地发展，但传统的分类方法仍然适用。按使用的测试技术不同可以将测试分为以下几类。

1. 静态测试

(1) 代码审查。主要依靠有经验的程序设计人员根据软件设计文档，通过阅读程序来发现软件错误和缺陷。代码审查一般按代码审查单阅读程序，查找错误。其内容包括：检查代码和设计的一致性；检查代码的标准性、可读性；检查代码逻辑表达的正确性和完整性；检查代码结构的合理性等。代码审查虽然在发现程序错误上有一定的局限性，但它不需要专门的测试工具和设备，且具有一旦发现错误就能定位错误和一次发现一批错误等优点。

(2) 静态分析。主要对程序进行控制流分析、数据流分析、接口分析和表达式分析等。静态分析一般由计算机辅助完成，其对象是计算机程序，根据程序设计语言的不同，相应的静态分析工具也就不同。目前，具备静态分析功能的软件测试工具有很多，如 Purify、Logi scope、Macabe 等。航天软件评测中心也有针对性地开发了一些汇编语言和 C 语言静态分析工具。

(3) 白盒测试。白盒测试是一种按照程序内部的逻辑结构和编码结构设计并执行测试用例的测试方法。采用这种测试方法，测试者需要掌握被测程序的内部结构。白盒测试通常根据覆盖准则设计测试用例，使程序中的每个语句、每个条件分支、每个控制路径都在程序测试中受到检验。白盒测试不需要运行程序。

2. 动态测试

黑盒测试是一种从软件需求出发，根据软件需求规格说明设计测试用例，并按照测试用例的要求运行被测程序的测试方法。它较少关心程序内部的实现过程，侧重于程序的执

行结果，将被测程序看成是不可见的黑盒子，因此被称为黑盒测试。黑盒测试着重于验证软件功能和性能的正确性，其典型测试项目包括功能测试、性能测试、边界测试、余量测试、强度测试等。

在实际工作中，常用的测试方法有很多，如表 4-2 所示。

表 4-2 常用软件测试方法

序 号	测试类型	简 述
1	黑盒法	亦称功能测试，完全基于软件功能需求的测试
2	白盒法	亦称结构测试，已知程序的内部逻辑，覆盖全部代码的测试
3	单元测试	最小函数或模块的测试
4	增量集成测试	增加新功能后进行部分测试
5	集成测试	对由各部分组合起来的程序进行测试
6	功能测试	黑盒类测试，使软件适合应用程序的功能需求
7	系统测试	黑盒类测试，基于全部需求说明，覆盖系统所有组成部分
8	健全性测试	常作为初始测试，确定一个新的软件版本是否表现正常，以应付更强的测试
9	回归测试	修复或调整好软件环境之后重新测试，自动测试工具适用于这种类型
10	认同测试	基于最终客户说明书的测试
11	负载测试	测试应用程序在重负荷下的承受能力
12	压力测试	负载和性能测试交替进行的功能测试
13	性能测试	系统或模块的稳定性、可靠性、响应速度等性能指标的测试
14	可用性测试	测试该软件的客户接口是否友好
15	安装/卸载测试	测试软件的安装、卸载或升级过程
16	恢复能力测试	测试系统在系统崩溃、硬件失效，或遇到其他灾难性的问题时是否能很好地恢复
17	安全性测试	测试系统自身保护并防止非法的内部或外部访问、故意损害等破坏的能力
18	兼容性测试	测试软件在特别的硬件/软件/操作系统/网络等环境下是否能很好地执行
19	验收测试	获知消费者对该软件是否满意
20	比较测试	在同类产品中比较软件的优缺点
21	α 测试	在软件开发将结束时进行该测试
22	β 测试	当开发和测试工作实质上完成时进行该类测试

在实际操作过程中，一般都是建立本地化的测试环境，结合以上测试方法，形成本地的内部测试方法。对于不同类型的软件，其测试方法可能存在差异，甚至差异很大。

4.7.4 软件功能测试

与开发过程类似，软件功能测试过程也必须分步骤进行，每个步骤在逻辑上是前一个步骤的继续。大型软件系统通常由若干个子系统组成，每个子系统又由许多模块组成。因此，大型软件系统的测试基本上由下述几个步骤组成：

(1) 模块测试。在设计得好的软件系统中，每个模块完成一个清晰定义的子功能，而且这个子功能和同级其他模块的功能之间没有相互关系。因此，可把每个模块作为一个单

独的实体来测试，而且通常比较容易设计检验模块正确性的测试方案。模块测试的目的是保证每个模块作为一个单元能正确运行，所以模块测试通常又称为单元测试。在这个测试步骤中所发现的往往是编码和详细设计的错误。

(2) 子系统测试。子系统测试是把经过单元测试的模块放在一起形成一个子系统来测试。模块相互间的协调和通信是这个测试过程中的主要问题，因此这个步骤着重测试模块的接口。

(3) 系统测试。系统测试是把经过测试的子系统装配成一个完整的系统来测试。在这个过程中不仅应该发现设计和编码的错误，还应该验证系统确实能提供需求说明书中指定的功能，而且系统的动态特性也符合预定要求。在这个测试步骤中发现的往往是软件设计中的错误，也可能发现需求说明书中的错误。

不论是子系统测试还是系统测试，都兼有检测和组装两重含义，通常称为集成测试。

(4) 验收测试。验收测试把软件系统作为单一的实体进行测试，测试内容与系统测试基本类似，但是它是在客户积极参与下进行的，而且可能主要使用实际资料（系统将来要处理的数据）进行测试。验收测试的目的是验证系统确实能够满足客户的需要，在这个测试步骤中发现的往往是系统需求说明书中的错误。

(5) 平行运行。关系重大的软件产品在验收之后往往并不立即废除旧系统，而是要再经过一段平行运行时间的考验。所谓平行运行就是同时运行新开发出来的系统和将被它取代的旧系统，以便比较新旧两个系统的处理结果。

4.7.5 软件可靠性测试

软件可靠性测试不同于一般的软件功能测试。

第一，软件失效是由设计缺陷造成的，其输入资料决定了是否会遇到软件内部存在的故障，所以，软件可靠性测试强调按实际使用的概率分布随机选择输入资料，并强调测试需求的覆盖度。因此，软件可靠性测试实例的采样策略与一般的功能测试不同，它必须按照使用的概率分布，随机地选择测试实例，这样才能得到比较准确的可靠性估计，也有利于找出对软件可靠性影响较大的故障。

第二，在软件可靠性测试过程中，要比较准确地记录软件的运行时间，其输入覆盖一般也要大于普通软件功能测试的要求。

第三，软件可靠性测试对使用环境的覆盖比一般软件测试的要求高，测试时应覆盖所有可能影响程序运行方式的物理环境。尤其是一些特殊的软件，如容错软件、实时嵌入式软件等，其中对意外情况的处理，在一般的使用环境下很难进行有针对性的测试，这时常常需要有多种测试环境。

软件可靠性测试步骤分为以下四个阶段：

(1) 制定测试计划。本阶段的目标是识别软件功能需求，触发该功能的输入和对应的数据域；确定相关的概率分布及需强化测试的功能，编写测试平台需求、可靠性测试计划和测试用例。建议采取下述步骤：

(2) 测试准备。本阶段进行以下两项工作：

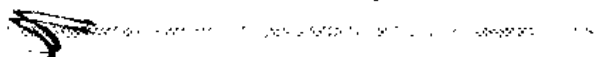
1) 根据前阶段的测试计划和测试用例,生成相对应的测试实例输入文件,并计算出每一测试实例所预期的输出结果。

2) 研制软件测试平台,建立软件测试环境。具体实施方法与被测应用软件的实际功能类型、测试投入及运行环境有关,这里不再细述。

(3) 测试。按测试计划和顺序对每一个测试实例进行测试,判断软件输出是否符合预期结果。测试时应记录测试结果、运行时间和判断结果。如果软件失效,还应记录下失效现象和时间,以备以后核对。

(4) 测试分析。整理测试记录,分析测试结果,编写测试分析报告。

4.8 系 统 维 护



软件维护是 GIS 生命周期的最后一个阶段,它处于系统投入运行以后的时期中,因此不属于系统开发过程。软件维护需要的工作量非常大,若复杂且庞大,则维护 GIS 程序的开销是巨大的,特别是网络 GIS,除了业务技术维护人员外,还需要计算机网络中心管理和数据更新人员,若有兼备对应业务知识和计算机网络技术的维护人员更好。

所谓系统维护就是在所开发的 GIS 交付使用之后,为了改正错误或满足新的需要而修改软件的过程。系统维护包括以下四个方面:

第一,因为系统测试不可能暴露出 GIS 中所有潜藏的错误,所以必然会有第一项维护活动:在任何大型程序的使用期间,客户必然会发现程序错误,并且把他们遇到的问题报告给维护人员。我们把诊断和改正错误的过程称为改正性维护。

第二,计算机科学技术领域的各个方面都在迅速进步,按照“摩尔定律”,大约每过 18 个月就有新一代的硬件宣告出现,而计算机网络技术则更是以“超摩尔定律”的速度发展。软件方面,经常推出新操作系统或旧系统的修改版本,时常增加或修改外部设备和其他系统部件。另一方面,GIS 应用软件的预期使用寿命很容易超过 10 年,远远大于最初开发这个软件时的运行环境的寿命。因此,为了适应变化了的环境而修改 GIS 软件——适应性维护,也是一项既必要又经常的维护活动。

第三,维护活动是指当一个正常运行的 GIS 在使用过程中,客户往往提出增加新功能或修改已有功能的建议,还可能提出一般性的改进意见。为了满足这类要求,需要进行完善性维护。这项维护活动通常占 GIS 软件维护工作的大部分。

第四,当为了改进未来的可维护性或可靠性,或为了给未来的改进奠定更好的基础而修改 GIS 软件的维护活动,称为预防性维护。

应该注意,上述四类维护活动都必须应用于整个软件配置,维护软件文档和维护软件的可执行代码是同样重要的。

维护过程本质上是修改和压缩了的 GIS 定义和开发过程,而且事实上远在提出一项维护要求之前,与软件维护有关的工作已经开始了。首先必须建立一个维护组织,随后必须确定报告和评价的过程,而且还要为每个维护要求规定一个标准化的事件序列。此外,还应该建立一个适用于维护活动的记录保管过程,并且规定复审标准。

1. 维护组织

一般, GIS 工程建设应该成立专门的组织机构, 负责系统的建设和管理工作。组织机构可分为三个层次; 高层是领导小组, 一般应由单位负责人任组长, 成员由各部门领导或主管组成; 中层是总体技术组, 由有关专家组成; 底层是各种工作组, 由有关业务人员、技术人员和管理人员组成。一般地说, 底层的各种工作组的设置应考虑系统规模, 从专业构成上应有计算机软硬件人员, 测绘专业尤其是地图学专业的人员以及与系统客户有关的专业人员, 如土地管理与城市规划专业的管理人员和规划师, 所有这些人员都应接受 GIS 基本原理和技术的训练。

即使对于一个规模较小的 GIS 软件开发团体而言, 若不建立正式的维护组织, 非正式地委托责任也是必要的。而对于大型网络 GIS 项目, 由于 Internet 及相关技术改变了软件维护的方式, 一般应当配备专门网络管理人员, 软件维护会以分布和协作的方式进行。每个维护要求都通过维护管理员转交给相应的系统管理员去评价。系统管理员是被指定去熟悉一小部分产品程序的技术人员, 系统管理员对维护任务做出评价之后, 由变化授权人决定应该进行的活动。

2. 维护报告

应该用标准化的格式表示所有维护要求。维护人员通常给客户id提供空白的维护要求表——有时称为软件问题报告表, 这个表格由要求一项维护活动的客户填写。如果遇到了一个错误, 那么必须完整描述导致出现错误的环境(包括输入资料、全部输出资料以及其他有关信息), 对于适应性或完善性的维护要求, 应该提出一个简短的需求说明书。如前所述, 由维护管理员和系统管理员评价客户提交的维护要求表。

3. 保存维护记录

对于 GIS 软件生命周期的所有阶段而言, 记录保存若不充分, 则往往不能估价维护技术的有效性, 不能确定一个产品程序的“优良”程度, 而且很难确定维护的实际代价是什么。所以应当保存维护记录, 例如形成维护日志。

4. 评价维护活动

缺乏有效的资料就无法评价维护活动。如果已经开始保存维护记录了, 则可以对维护工作做一些定量度量。根据对维护工作定量度量的结果, 可以做出关于开发技术、语言选择、维护工作量规划、资源分配及其他许多方面的决定, 而且可以利用这样的资料去分析评价维护任务。

4.9 配置管理



配置管理指的是一套按规则管理软件开发和软件维护以及其中各种中间软件产品的方法。配置管理可以有效地控制软件开发过程的资源。GIS 软件开发亦需要进行配置管理。

配置管理是通过技术或行政手段对 GIS 软件产品及其开发过程和生命周期进行控制、规范的一系列措施。配置管理的目标是记录 GIS 软件产品的演化过程, 确保 GIS 软件开发者在软件生命周期中各个阶段都能得到精确的产品配置。

配置管理过程是对处于不断演化、完善过程中的软件产品的管理过程，由 GIS 开发人员和管理人员确定、组织和实施。其目的是在 GIS 软件修改过程中设法少犯差错来最大限度地提高 GIS 产品的生产率，最终目标是实现 GIS 产品的完整性、一致性、可控性，使产品最大程度地与客户需求相吻合。它通过控制、记录、追踪对 GIS 软件的修改和每个修改生成的 GIS 软件组成部件来实现对 GIS 软件产品的管理功能。

配置管理涉及 GIS 软件配置项和基线的确定，也可理解为在 GIS 软件生产的某个阶段应具备的 GIS 软件文档和保存软件的介质等。软件基线（基准）又称里程碑。软件配置项经软件验证、确认、评审和认定后，形成软件基线，也就成了该阶段的一个基准。下一个阶段只能在这个基准上进行开发活动。

GIS 软件配置的管理要求：

- (1) 任何 GIS 软件修改必须遵循软件更改规范；
- (2) 未经批准的更改，任何人无权修改；
- (3) 更改后必须测试、验证和确认；
- (4) 软件验收必须对相应的软件进行评审。

具备评审的条件包括：相对该基线的 GIS 软件配置项齐全、有测试结果和测试分析报告及软件优化报告。

文档管理是一项十分艰巨而又琐碎的工作，要求文档编写必须规范、文实相符、文文相符、描述具有一致性、确切性和简明性、签署完整、职责明确。软件可靠性管理作了一些初步的尝试。在 GIS 软件开发过程中，设计了软件可靠性数据采集表格。对软件中的需求、模型、设计、编码和定义域等方面的错误均要填表，包括产生该错误的时间（计算机执行的累计时间）、错误性质、出错原因和排除错误的结果等。

4.9.1 组建配置管理方案构造小组

构造或完善一个 GIS 开发组织的配置管理过程需要在初期花费较大的人力物力，这项工作一般是由一个临时组成的配置管理过程构造小组来完成。这个小组负责构造配置管理过程中的所有工作，包括了解本组织的现有开发、管理现状，选择配置管理工具，制订配置管理规范，安排试验项目的实施，沟通部门间关系，获得管理者支持和开发人员的认同。配置管理过程构造小组应该包括下列成员：

(1) 小组负责人。对整个构造过程负责。主要职责是协调与其他部门或与上级主管的关系，监督工作进程，协调小组内部关系。

(2) 技术支持专家。负责在技术、设备方面为本小组提供支持和服务，并负责同其他部门就技术问题进行联络，如了解相关项目情况、开发环境、开发人员状况等。

(3) 配置管理技术专家。其对配置管理过程的构造和配置管理工具十分熟悉。主要任务是指导配置管理过程的构造，帮助制订配置管理规章，负责对开发人员进行配置管理工具的培训。通常是配置管理工具提供商或专门的配置管理顾问机构的人员担当此任。

(4) 配置管理系统客户代表。他们是从将来要在实际的项目开发过程中使用该系统、遵照该过程的开发人员中挑选出来的。他们负责从构造初期了解配置管理系统和规程，根

据开发经验协助制订、修改配置管理规程，并在试验项目中担任部分开发角色。这部分成员应包括 GIS 开发项目经理、设计人员、编码、测试和构造、发布人员。

该项目小组成立后，将按后述步骤开展配置管理过程的构造工作。

4.9.2 对目标机构进行了解、评估

实施配置管理，必须对相互作用的双方都有较透彻的了解才能达到预期效果。因此首先要做的事情是调查了解，既要了解目标机构（即将要采用该配置管理过程的软件开发组织）的情况，又要了解配置管理工具的情况。

目标机构的调查评估工作由配置管理技术专家领导，配置管理系统客户代表参与，提供基本信息，并由小组负责人协调，对相关部门人员进行深入调查以获得较全面的资料。

对目标机构的了解、评估应从以下几个方面入手：

（1）人员评估。人员评估的目的是了解目标机构的员工对现有配置管理过程的评价和对采用新工具、制订新规范的态度，预测新的配置管理过程构造中的工作难点和可能遇到的阻力。

（2）技术评估。对目标机构技术方面的调查、评估将直接导致对工具的选择。

（3）现有流程评估。对目标组织现有工作流程的评估直接影响新的配置管理流程和规章的制订。

（4）项目评估。配置管理系统对正在开发的产品、正在进行的项目有直接的影响，因此对即将纳入管理的项目应有充分的了解。

（5）期望值评估。目标机构的开发、管理人员对新系统的期望值的了解有利于对症下药，解决其当前紧要问题，提高对新系统的信心。

4.9.3 配置管理工具及其提供商评估

通过对目标组织的评估，了解该组织的现状和需求后，就需要选择适合该组织的配置管理工具。一般，可供选择的配置管理工具较多，它们各有所长，在功能、性能等方面有较大的差别，只有对产品及其提供商进行分析评估后，核对目标机构的需求，才能挑选出合适的工具，实现一个理想的配置管理过程。

评估可从三个方面进行，即配置管理工具的评估、供货商评估和其他客户使用经验的评估等。

4.9.4 制订实施计划

经过对目标机构和选用工具的评估，工作小组可以制订出一份完整的工作计划作为下一阶段行动纲要，同时也是向上级主管汇报、取得支持的有效佐证。

工作计划由如下部分组成：

（1）必要性和影响因素。结合目标机构的开发过程组织和配置管理现状，论证构造或完善配置管理过程的必要性；根据所选配置管理工具的功能特性和供货商的实施支持，阐明新的配置管理系统可对目标机构的开发和管理带来改进和驱动。另外，对该配置管

理系统和相应的配置管理过程，对现有的人员、工序和管理等方面可能带来的影响作出适当的预测，以便减小将来实施时可能遇到的阻力。

(2) 配置管理目标和配置管理过程的构造成功标准。对正待构建的新的配置管理过程制订出一个较为长远的目标，即要达到哪种控制程度，加强哪些方面的管理，是否按照相关的国家或国际标准实施，达到何种级别等等。另外，对构造配置管理过程的工作本身，如前所述应当作为一个项目来做，因此也必须制订一个明确的完成标准。该标准应该在本小组内部统一并获得上级主管认可。

(3) 人员组织和分工。进一步明确工作小组的组织成员和成员关系，为每个成员分派相应的任务和职责。

(4) 进度计划。罗列出构造过程中所要解决的问题，设置里程碑。

(5) 风险管理。预测构造过程中可能遇到一些外在困难因素，如硬件短缺、平台差异、与相关部门冲突、试验项目的特殊性等等，应当为这些风险因素设计出降低或规避风险的方法。

4.9.5 定义配置管理流程

配置管理流程是 GIS 开发机构进行配置管理的依据，也是配置管理构造工作小组的最重要的工作成果。配置管理流程规定开发过程中需要做哪些配置管理方面的工作，由谁做、如何做。前两个问题有较为通用的答案，在后文将会涉及，第三个问题则必须根据目标机构的具体情况解决。

制订配置管理流程的方法是：通过对目标机构的调查、评估，定义现有的配置管理流程，由配置管理技术专家做进一步分析，结合常规的配置管理方法制订出新的流程。之后，依据选定的配置管理工具的功能，将新流程中可自动化的环节交由配置管理工具处理，其他环节由新制订的配置管理规范控制。

除了制订配置管理规范外，该小组还应制订出适合目标机构的配置管理基本章程。该章程应包括配置管理部门的设立、该部门的责能（通常是负责监督配置管理规范的执行情况，对配置规范进行完善，并担当日常的内部配置管理过程支持任务），定义配置管理过程与开发过程的协调关系，以及各开发阶段的开发人员构成、在配置管理流程中的责任划分等等。

一般说来，配置管理包括四个方面的活动：配置项标志、配置项控制（修改控制）、配置状态报告和配置审核。配置管理规范的制订也应按这四个方面内容进行，每一个方面要考虑的问题如下。

1. 配置项标志

制订文件或文件编号、标记体系。定义文档和文件之间的联系；确定受控的配置项的取舍，如软件源码、硬件描述文件、中间文件、目标文件、测试方案、系统资料等等；确定产品版本、基线的标志体系；确定库程序的标志和管理机制。

2. 配置项控制

确定产品的版本演化策略，规定何时、何人创建新的基线，如何创建；确定修改请求

控制机构的人员组成、职能、工作程序；确定修改请求的处理流程和终止条件；确定修改请求处理过程中各开发人员的职能；确定修改请求和所生成的结果的对应机制；确定文档的修改方式；确定配置项的提取方式。

3. 配置状态报告

定义报告的内容、形式、提交方式；确定产品的发行事宜，包括发行时间如何确定、发行说明的生成发布方式、发行方式等。

4. 配置审核

确定审核的执行人员、执行时机，审核的内容和方式；确定发现问题后的处理方法。

4.9.6 试验项目的实施

这一阶段的任务是选取目标机构中的一个现有项目，按既定的配置管理流程去进行开发和配置管理工作。这种试验的目的是在一定风险范围内，通过实地运作来确定所选配置管理工具、所制订的配置管理规范是否能满足目标机构的需要。

1. 选定试验项目

该项目应该具有一定的复杂性，但又有较强的独立性，不会对目标机构的关键项目造成重要影响。

2. 选定试验组成员

通常应包括构造小组的部分成员和该项目原有的成员。

3. 定义试验成功的标准和试验时间表

应以配置管理流程和项目开发管理过程的协同程度和总体工作效率为依据。

4. 人员培训

包括配置管理工具培训和配置管理规范培训。

5. 配置管理工具的安装和项目环境的搭建

包括将历史代码导入到新系统中，将原有配置管理信息转换成新系统的信息，置于新系统控制之下；搭建项目所需的软硬环境等。

6. 开发过程

按新的配置管理流程进行试验项目的开发，及时收集项目开发人员的反馈信息，调整配置管理流程。根据项目的进展情况和开发人员的反馈信息，找出新配置管理流程的不足，及时调整改进。

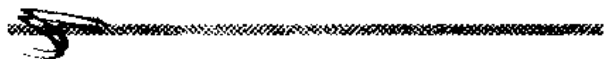
4.9.7 全面实施

经过试验项目证实、校正后的配置管理流程就可以在目标机构的各个项目、各个相关工作环节中去应用、实施，最终使配置管理过程日常化、规范化。全面实施过程主要由配置管理部门根据新的配置管理流程来指导。配置管理过程构造小组的作用趋于淡化，主要起监督和支持作用。该小组在全面实施过程中逐步解散，小组中部分成员可转移到配置管理部门中去。全面实施阶段的任务如下：

(1) 组建或完善配置管理部门，并完成配置管理流程的移交；

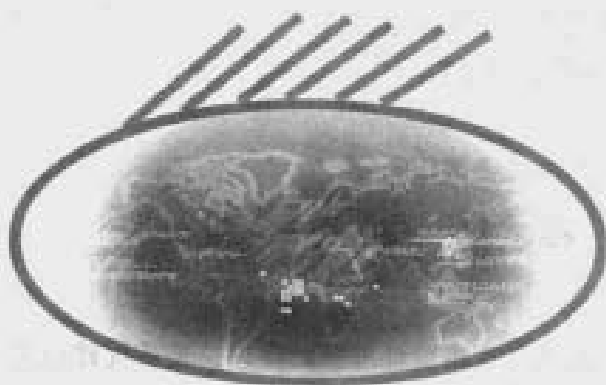
- (2) 由配置管理部门制订各个项目的配置管理实施计划；
- (3) 进行全组织范围的配置管理系统和规则的培训；
- (4) 帮助各个开发项目向新流程转移；
- (5) 进行日常的监督、抽查、评估和规范的完善工作。

4.10 文 档 管 理



文档是 GIS 工程的一个重要部分，是开发人员逻辑设计思想的体现，是系统建设的重要成果及系统维护的重要依据。

文档建设要与 GIS 工程各开发阶段相配套。作为阶段性成果，每一个阶段结束时都应当提交相应的文档，并作为下一阶段的指导性依据。客户需求分析成果及其相应的文档是系统设计的基础；同样，没有详细设计说明书，代码设计就无法进行。开发过程中，对先行成果作了修改，同时要及时在相应的文档中体现，前后文档内容要衔接一致，形成完整的体系。应尽可能对文档的编制制定统一规范的格式，各文档的内容要作明确规定，文档的术语要符合软件工程的内容要求。在需求分析和设计报告中要运用规范正确的数据流程图、数据字典描述工具来表达系统的逻辑模型等。



5

输变电地理 信息系统

GIS 在输变电系统中应用主要是基于 GIS、RS 和 GPS 等应用技术相结合的输变电系统规划设计、雷电定位、污秽区监督以及输变电设施设备管理等内容,其应用难点是规划设计功能的实现。因此,在本章的第 1 节介绍输变电系统规划设计的基本知识,第 4 节对输电线路规划设计中的选线与排位进行比较深入的阐述。同时,对于输变电 GIS 的功能需求以及体系结构、数据库设计、雷电定位等内容进行了论述。

5.1 输变电系统规划与设计概要

输变电系统规划的首要目标是确定能把系统将来的电能充分且安全地输送至客户的网络扩展方案,即解决如何根据电源发展及负荷增长情况合理地确定今后若干年的电网结构,使其既安全稳定又经济合理。由于受国家政策调控、社会经济发展、人口变动及环境变化等因素的影响,电力系统的发展条件也在不断变化。规划期越长,条件、参数也就越难确定。不确定性是电网规划的一个突出特点,也是研究的难点。

经济性是输变电规划中的一个重要因素。专家学者们对于节省投资的规划方法做了深入研究。但随着经济的发展,社会对电力的需求和可靠性要求不断提高,并且电力行业逐渐走向市场化,人们对可靠性的认识得到了提高。提高电网的可靠性虽然增加了电网的资金投入,但可靠性的提高却可以带来隐含的经济效益,如停电损失的减少等。当可靠性投资与可靠性得到平衡时,从社会效益的角度,电网扩展规划达到最优。因此在复杂的电网扩展规划中,处理好经济性和可靠性的关系是一个艰巨且意义重大的任务。

输变电规划的原则是保证电网安全经济运行。电网的合理分层分区是实现电网安全稳定和经济运行的前提,是不同电压等级合理配合和电源与负荷平衡的网络条件。主干网的结构应该通盘规划,统筹安排,做到布局合理,分层分区,主次分明。

1. 分层分区的原则

按电压等级分好层次;按能源、电源与负荷需求划好区域;按电厂和负荷的容量接入

相适应的电压等级，大电厂大负荷接入高一级电压；按电力供应划分区域，力求分区平衡，各区之间用联络线联络，提供电力、电量或事故支援。电源和负荷的平衡要在不同电压等级的电网中实现，在每个区内应有一定容量的电厂。不同时期的分层分区各不相同，低压的主干网络形成受端系统，在高压主干网络形成受端系统后就应改造简化，重新分层分区。高压主干受端系统在后期又应分区成为二三个受端系统互联的格局。

所谓分层原则，是指按网络电压等级（即网络的传输能力大小）将电网划分为由上至下的若干结构层次。为了合理地充分发挥各级电压网络的传输效益，电压等级一般以 4 级为宜，以利于电源尽快直接供给负荷，避免多次升压、降压以及迂回送电造成不必要的损耗。

电网分层分区有利于充分发挥有功与频率、无功和电压的控制。

2. 受端系统建设原则

坚强的受端系统是电网结构的核心，是经过多年的负荷发展和电源建设而逐步形成的。输变电规划的任务之一是尽早使电力系统形成以主要负荷集中地区（可占总负荷 60%）和主要电源，以电网最高电压连接成坚强的受端电力系统。

在受端系统内，任何单一严重故障（包括线路及母线三相短路）或失去任一元件（线路或变压器）时，都应保持系统稳定，并使其他元件不超过事故允许的负荷范围。

3. 电源出线原则

从全网规划考虑电源最终装机容量和送电距离，用相适应的电压等级出线接入电网，使各电压等级电网的电源和负荷合理平衡。在当前缺电、缺资金、缺能源、缺材料的条件下，宜采用大机组单元接线直接送电至负荷中心，避免二次升降压，以节省投资，简化接线，减少网损。出线不应集中在同一路径上，以避免发生多重故障时，切除多个回出线的严重事故；向不同方向送电的出线，应考虑当一个方向出线发生故障时，其余方向的出线仍能维持发电厂的安全运行，任何电源出线发生故障都应保证系统稳定。除特大电源退出允许切除部分负荷以稳定频率外，一般不应损失负荷。

4. 分区的原则

外来电源送电给受端系统，不应再经受端系统转送。当受端系统电源已足够多，新的负荷中心形成，且需要大电源时，则应尽早建成新的受端系统，并与原来的受端系统互联，互补电力余缺和事故支援。

5. 系统间的联络线原则

大电网互联是电力工业发展的趋势，系统间联络线按规定的不同任务可分为以下 3 类：

（1）强联络线。具有输送较大电力和电量的能力，使输电线路同时兼有经济功率交换和事故支援的能力，因此安全稳定标准类似电源出线，电压等级宜采用电网最高一级电压。

（2）中联络线。互为事故备用，并送一定量的功率。正常时可以控制联络线功率，事故时，若稳定受到影响，可以解列。一般用中等电压等级的线路作联络线。

（3）弱联络线。正常时电力和电量很少交换，事故时可以少量互相支援，可采用自动解列或将备用电源自动投入，主要用于低电压联络线。

5.2 输变电 GIS 功能需求分析及总体结构

5.2.1 输变电 GIS 功能需求分析

目前,输变电管理现代化得到了大力发展,过去一直被认为粗放经验管理的输变电系统,开始使用计算机进行管理。由于输变电系统涉及的区域范围大,需要采集该区域范围内的地形、地貌、水文、地质、房屋等信息,迫切需要借助 GIS 技术的支持。GIS 在输变电管理领域的应用分为两类:中低压输变电管理和高压输变电管理。这两类应用的特点不同:前者管理的区域较小,地图精度要求较高;后者管理的区域较大,地图精度要求较低。另外,这两类应用的需求也有所不同。在中低压领域,国内目前现有的系统多实现了线路及其电力设备与二维背景图的结合,图形和属性数据的相互查询及图纸数字化管理,改变了传统的管理手段,但也存在着 GIS 系统功能简单、电子地图分层较少、地理信息不够丰富,有些应用模块对硬件要求过高等缺点。GIS 技术在输变电系统中的应用还处于初期发展阶段。

输变电 GIS 需要在 GIS 功能的基础上叠加大量电力专业的应用,如选线排位、运行管理、检修管理、两票管理等。这些应用的专业性很强,因而要求所选用的 GIS 平台必须具有强大的二次开发能力。输变电 GIS 的数据量大,涉及到输变电范围内的房屋、道路、交通、地质、水系等各方面的大量数据,输变电 GIS 需要解决海量数据存储及处理等问题。

输变电 GIS 的功能需求主要表现在以下几个方面。

(1) 图形显示定位。系统能将各电压等级的输电线路图、线路上的各种设备图、单线图、电缆沟剖面图、变配电站图、开关站图以及基础地形图进行分层综合显示,可同时显示全景图视窗和局部区域视窗,在全景图上可移动当前视窗所处的地理位置,而在局部区域图上进行缩放及移动并可以在全景图上得以反映,能方便地了解全局和局部的关系。

(2) 图形漫游。系统提供漫游功能,并实现无缝、无刷新的视觉效果,便于游览及快速定位。

(3) 图形缩放。能对图形进行开窗放大、中心放大、中心缩小、中心移动、任意中心放大、任意中心缩小、返回前状态和全景显示等功能。系统在进行无级缩放时,可自动根据当前视窗的比例尺,调整显示图层和某一图层中信息量的疏密关系及效果,保证最佳的视觉效果和最快显示速度。

(4) 显示切换。在不同比例尺的电子地图上进行自由切换,以及在输电线路接线示意图、输电线路相序图等之间进行任意切换。

(5) 图层管理。可以控制背景电子地图的分层显示(可按水系、道路、建筑物等对象分层控制);可以按变电站、线路和杆塔进行分层显示/隐藏;对变电站、线路和杆塔均可按电压等级(500、330、220、110、35kV)分层显示/隐藏;创建污秽区图、特殊地段、巡视、清扫检修、故障、交叉跨越等图层,并对它们和地、市、县区域图层、公路、铁路、高速公路、河流、线路、杆塔等图层进行管理。

(6) 输入、编辑功能。具备对输变电的图形资料和设备数据快速输入,包括线路、设备、杆塔等图形数据和属性数据的输入。图形数据的输入主要有数字化扫描仪、手扶跟踪数字化仪、坐标输入等方式;属性数据主要是键盘输入和原有文件转入等。

具备对输变电网的图编辑功能,可直接在地图上校正、修改输变电路径及设备的基本情况,编辑设备图形、符号,具体操作如下:

1) 创建线路、添加线路。根据客户提供的拐角杆塔坐标,通过计算自动生成新的输电线路的地理接线图,在原有的线路尾部添加新的杆塔和线路。

2) 对杆塔的操作。修改杆塔、插入杆塔、删除杆塔。

3) 编辑设备结构图及符号。

(7) 专题图生成。根据输变电管理要求生成各种专题图,如区域变电容量专题图、输电线路电压等级专题图、输电线路评级情况专题图、杆塔污秽等级专题图、输电线路地理接线图等。

(8) 查询功能。可对输变电系统中的图形和属性信息进行灵活多样的双向空间查询,提供强大的设施管理(FM)功能。可以从地图上直接查询变电站、线路和杆塔等信息。主要包括:可快速查询任一输电线路、杆塔在平面地形图上的位置;可快速查询任一杆塔单线图、结构图和杆塔全部材料表;可快速查询任一线路上的故障记录及检修记录,并确定下一次巡线检修的时间等。主要查询方式包括:

1) 通过点图查询工具对地图上的任意单一对象(变电站、线路和杆塔)进行属性信息查询。

2) 可以进行任意区域查询,通过区域查询工具对任意多边形区域、任意半径区域的所有对象进行查询;对查询到的线路、变电站信息,还可以直接关联到相序图和接线图上去;在查询变电站、线路和杆塔信息时可定位到其所在的地理要素;提供通用的查询工具,对满足客户查询条件的对象能够直接定位到地图上。

3) 多条件查询功能。根据客户输入的多种条件,查询到满足这些条件的所有对象信息,并进一步查询其详细信息及其所在的地理位置。

4) 线路总览功能。按照变电站、线路和杆塔分类进行整体查询。

5) 线路跟踪功能。模拟输电线路的巡视功能,通过指定线路的起始变电站,按照线路的顺序杆号逐杆显示在屏幕的中心。

6) 变电设备参数查询。可以查询到变电站的一次接线图,对变电站的一次接线图能够进行无级放大、缩小和漫游。通过点图查询工具能够查询到一次接线图上所有变电一次设备的设备台账。

(9) 道路拓扑网络分析功能。对故障点可进行道路选择,给出线路抢修的最佳路线。

(10) 网络通信功能。具备信息传播功能,通过设定的通讯协议,可接入 MIS,给多个部门提供信息服务。

(11) 设备与资产管理。设备管理是对输变电系统的各种设备进行统一管理,具体包括:杆塔数据管理、变电站数据管理、线路数据管理、杆塔地理坐标数据管理、共杆信息数据管理、RTU 对照表数据管理、变电设备参数台账管理等。

(12) 运行管理。对交叉跨越测量、故障事故跳闸等情况进行记录,对缺陷定级并修改记录,进行可靠性管理(即计算线路可用率)。具体内容包括:接地电阻遥测记录数据维护;绝缘子零值测试及更换记录数据维护;输电线路评级记录数据维护;输电线路大事记数据维护;绝缘子防污记录数据维护;输电线路运行管理数据维护;带电作业工作记录数据维护;线路工作票记录;带电作业工作票记录;线路事故查线分段记录;杆塔材料更换记录;等值附盐密度测定;提供多种分类统计的报表,如对一条线路上某一型号的绝缘子、杆塔的数量和分布情况进行统计。

(13) 安监管理。记录安全大检查、事故故障、安监培训及安规考试情况,工作票统计等。

(14) 生产计划管理。包括生产作业计划、大修计划、技术改造计划、大修技改执行情况、年度生产总结、停电检修情况统计等。

(15) 巡视管理。包括设备巡视、缺陷标注、巡视计划等,能利用 GIS 完成设备巡视、缺陷标注等工作,并采用自动和交互两种方式制定巡视计划。

(16) 检修管理。在 GIS 电网图上完成负荷测量、接地测量、交跨测量等。

(17) 缺陷管理。缺陷管理包括发现缺陷数据管理、消除缺陷数据管理、输电线路跳闸事故数据管理。

(18) 报表设计。对输变电路中的各种信息进行多种方式的统计。如进行缺陷统计、设备统计评级、生产月报、生产季报、带电作业情况统计表、设备汇总表、绝缘子劣化统计分析报表、带电工作票统计等工作,并输出成果。

具体统计方式包括:①线路统计:可按线路名、一点一/二侧,两点之间等方式对线路上的设备及其容量、负荷等进行统计;②按区域统计:可按行政区、开发区等区域对设备、容量、负荷等进行统计;③按任意范围统计:可设定任意范围,对此范围的设备、容量、负荷等进行统计。

(19) 报表输出。提供多种报表输出打印功能,除了能打印固定格式的报表外,可提供足够的灵活性,可根据客户的需要和选择来打印。报表打印包括:输电设备参数台账表;输电线路一杆一卡表;输电线路基本参数报表;输电线路杆塔共杆情况表;输电线路杆塔雷电定位表;输电线路大事记;输电线路运行情况表;输电线路评级报表(包括评级总表);输电线路安全运行日统计报表;输电线路跳闸事故统计报表;输电线路大修更改情况表;输电线路缺陷报表;输电线路运行、维护月报表(以及汇总标);接地电阻遥测记录;绝缘子零值测试及更换记录;杆塔材料更换记录;带电作业工作记录。计划管理报表:输电线路反措计划报表;输电线路大修计划表;档案管理:输电线路杆塔明细表;输电线路绝缘子明细表;护线员档案记录表;人事档案记录表;变电设备技术参数台账报表等。

(20) 系统维护。为保障数据的安全,防止数据被人为或无意改动、删除,客户权限管理应包括:

1) 能对不同部门设置相应的权限,只有原始数据提供部门才能有录入数据的权限,其他部门只能使用查询功能。

2) 具有数据录入权限的部门能够维护其所属班组的权限,包括班组录入数据、查询

数据及一般客户等权限。

3) 系统中设置了系统管理员、部门管理员、数据录入人员、一般客户四个不同级别的权限, 客户能够维护自己的口令和维护比自己权限级别低的客户。

(21) 运行日志管理。进行数据库管理, 包括备份数据库、恢复数据库等。

(22) 外部接口。

1) 与 SCADA 的接口: 通过中间件, 将 SCADA 实时信息在 GIS 上显示, 通常, 建模时应考虑到在需要实时信息的设备上增加状态字段, 控制是否连接实时信息等。

2) 与 MIS/CIS 的接口: 通过建模工具, 建立与 MIS, CIS 的数据库的映射连接, 将 MIS、CIS 的数据结构和数据与 GIS 系统合成一体, 实现系统间的集成。

(23) 其他功能。如决策支持功能等。

5.2.2 输变电 GIS 的总体结构

输变电 GIS 的结构根据具体客户的需求各不相同, 但其结构主要包括如下几个功能模块, 如图 5-1 所示。

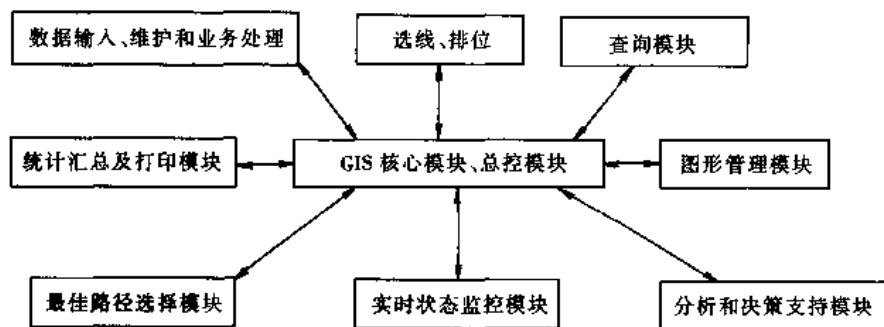


图 5-1 输变电 GIS 总体结构图

1. 数据输入、维护和业务处理

负责输变电 GIS 的空间数据和属性数据的输入和编辑修改。提供了严格的客户管理模块, 规定了客户的数据录入权限, 以保证数据的安全性、合法性和一致性。提供了方便的数据录入、修改和删除功能, 并可以自动对数据进行合法性检验。能自动根据输入的地理坐标数据在地图上生成客户对象 (变电站、杆塔、线路、故障点), 并能在地图上使用鼠标直接校正对象的位置。

2. 查询模块

该模块可对输入的各类数据进行查询、浏览, 通过简单的人机交互, 检索到目的信息。提供多种方式、快捷方便的空间查询和逻辑查询。可以直接用鼠标点击地图对象 (变电站、线路、杆塔或故障点等) 以了解其属性信息, 还可以指定地图上的任意区域, 对区域内的对象进行信息查询和统计。可以输入自己定义的条件查询符合条件的客户对象的属性信息, 并在地图上找到相应的位置。

3. 图形管理模块

图形管理按空间数据管理模式, 可用鼠标进行选线、选杆查询有关内容, 也可按线路

号、杆塔号查出杆塔的平面位置、周围地形等。工程图中的各类图形的特点不同：线路平面图具有标出线路走向、给出杆塔号及地名的特点；线路断面图具有标出海拔高度、杆塔地形、地质结构等信息的特点；导线布置图则在杆塔上清楚地标出电力线 A（黄）、B（绿）、C（红）三相布置及三线换位的具体位置。在杆塔图中，以杆型为基本单元，可查询杆塔的结构图和明细表，重复使用的杆塔采用同一型号数据。

4. 统计汇总及打印模块

根据客户的要求，对某些数据可进行单表纵向查询以及多表横向查询，利用数据库内在功能进行统计汇总，其结果可屏幕显示，也可按各种报表格式打印输出，供客户使用。可以选择感兴趣的专题制作各种专题地图，如以县城或地区为单位的计划用电量和实际用电量的专题地图。可以选择地图上任意区域进行统计，如任意区域内杆塔数量、变电站总容量等。

5. 最佳路径选择模块

在故障抢修过程中，应用输变电 GIS 的最佳路径选择功能，结合各种相关条件，快速确定最佳抢修路径。

6. 实时状态监控模块

根据输变电网络正常运行的规则和约束功能检查全网线路当前运行的安全状况（正常/供电/过载），并将结果显示在地图上。能计算在指定时间区间内线路的线损，计算输变电运行的经济程度。根据当前线路的实时数据可以计算线路的潮流方向，并在地图上显示出来。

7. 选线排位模块

输变电系统中需要选择一条新的线路时，选线和排位是非常重要的工作。

选线，又称路径选择，是在叠合有地物信息（即矢量地形图 DLG）的正射影像图上用鼠标即时选取线路路径，也可以设计成让客户使用空间坐标（即时输入或文件输入）来确定转角的方式进行选线，还可以采用交互的方式选线，即鼠标与键盘结合输入转角点来选线。选线的过程中客户可以直观地在屏幕上看到路径经过处的各种地形地貌情况（正射影像图和矢量图甚至是更加直观形象的地形景观图）。在选线阶段，系统可以利用 GIS 的空间分析和查询功能进行各种技术经济指标的统计，以便客户对该线路的合理性进行判断。此外，为了实现多线路的综合比选，在同一个工程可以进行多条线路的选取，并能同时显示多条线路的统计信息。

排位，是指在已生成的平断面图上实现杆塔的排位，有人工排位、自动排位和半自动排位三种情况。目前主要采用人工排位和半自动排位，实现真正的自动排位难度还比较大。

8. 分析和决策支持模块（可选和可扩充模块）

（1）输电优化调度方案辅助决策：根据用电计划和供电规则及约束条件智能决定最经济的供电方案。

（2）负荷转移辅助决策：根据送电计划和送电线路的容量，选择最安全的送电方案。进行供电范围分析，在地图上模拟显示某电源点的供电范围。

5.2.3 自动制图与设备管理

GIS技术在输变电系统中应用包括AM (Automation Mapping) /FM (Facility Management) /GIS进而发展成为GRM (Geospatial Resource Management—地理空间资源管理)。

1. 自动制图

输变电GIS具有很强的自动制图功能,能够根据客户的需求选择感兴趣的主题制作各种专题地图;可以选择地图上任意区域进行统计,如任意区域内杆塔数量、变电站总容量等,自动生成各种统计图表。

输变电GIS提供为客户定制的专题地图,主要包括以下几方面内容:

(1) 区域变电容量专题地图。

(2) 输电线路电压等级专题地图。

(3) 输电线路评级情况专题地图。

(4) 杆塔污秽等级专题地图。向客户提供污区图的生成工具,并允许客户对污区图进行创建、修改、删除、整形等操作。

(5) 输电线路地理接线图。

(6) 生成特殊地段图示。根据给出的线路名称或电压等级,创造一至多个输线路上特殊区域图示。如:“雷击多发区域”图示、“鸟害活动范围区域”图示、“导线易舞动区域”图示、“复冰区域”图示、“偷盗严重区域”图示、“外力易破坏区域”图示等。

(7) 根据运行参数自动生成相关联的电网图:根据给出的线路名称或电压等级、起始日期、终止日期等,创建一至多个对应线路上与运行参数相关的各种图示。如:带电作业图示,故障图示,检测图示,绝缘子零劣值及更换杆塔图示,巡视图示,盐密设点图示,接地电阻测试图示,开展状态检修线路图示,缺陷图示,交叉跨越图示,树障图示,线路调爬图示,线路清扫图示,走线检查图示,杆塔分类图示,耦合地线带电作业图示,大跨越杆塔图示,防雷装置杆塔图示,防舞装置杆塔图示,防盗装置杆塔图示,共杆线路图示,导、地线接点位置图示,导线换位位置及换位图示,合成绝缘子、绝缘子、玻璃绝缘子杆塔图示,单位管辖范围图示,杆塔地形图示等。

(8) 自动开窗显示图示的运行参数。使用鼠标点击任一图标,可以查看对应图示的数据内容,而输电线路的图示由创建图示功能完成。

(9) 杆塔结构示意图的生成和显示。

(10) 金属装配图的生成和显示。

(11) 绝缘子组装图的生成和显示。

(12) 接地装置示意图的生成和显示。

(13) 杆塔单线图、断面图、基础图的生成和显示。

2. 设备与资产管理

输变电GIS对输电区域的设备进行统一管理,存储了各种设备信息,包括杆塔参数、绝缘子参数、金具参数、线路缺陷信息、设备缺陷信息等,为设备的统一管理提供基础,为线路的全局查询、定时检修及突发事件的处理提供准确的、最新的设备信息和空间信

息。

5.3 输变电 GIS 数据库设计



5.3.1 输变电 GIS 数据分类

输变电 GIS 系统是为输变电系统的规划和运行维护管理服务,包括整个输变电系统所涉及区域的地质地貌、水文、气象、道路交通、房屋住宅、经济发展等自然、经济、社会等各方面的资料,因此必须建立科学合理的数据库系统。

数据库设计的核心问题之一就是设计一个符合使用要求的数据库模型。数据库模型一般具有两种描述功能:①数据内容的描述功能;②数据之间关系的描述功能。在输变电 GIS 系统中,属性数据库可以通过著名的关系型数据库系统建立,如 Oracle、SQL SERVER 和 SyBase 等,可以充分利用这些数据库系统提供的强大的数据库管理功能。空间数据库通过 GIS 软件系统来建立,如 ARC/INFO、MapInfo 等,空间数据库与属性数据库之间通过空间数据引擎或 ODBC 技术通过惟一的标识码进行连接。由于输变电 GIS 涉及的数据库量巨大,内容复杂,必须依据实际情况和数据库技术发展趋势,设计、采用一种合理的数据库技术。

根据数据的内容和数据结构将输变电 GIS 的数据分类如下。

1. 按数据的内容分

(1) 基本信息库(库结构库或数据字典库):描述层次关系及基本信息,包括全局汇总、区域汇总和厂站汇总信息等。

(2) 网络管理信息库:包括网络软、硬件配置,通信管理信息等,如:计算机配置、网络、RTU 和通道信息等。

(3) 实时数据库:包括遥测、遥信、脉冲量、遥控、遥调和报警信息等。

(4) 设备及其参数信息库:包括发电机、变压器、线路、母线、电容器、电抗器、负荷、断路器和继电保护信息等。

(5) 历史数据库:主要存放定分钟、整点等累计信息及日、月、年等统计信息,为历史曲线及统计报表等提供数据。如定分钟数据、整点数据、月报及统计、年报及统计、事件顺序记录和事故追忆等。

(6) 图形信息库:包括图元、图形静态、图形动态、图形定位和图形基本信息(即图形的汇总信息等)。

(7) 高级应用数据库:包括网络拓扑库、状态估计库、实时潮流库、负荷控制库和网络分析库等。

(8) 测量数据:GPS 数据、测绘及检测数据、终勘定位数据。

(9) 水文数据:跨越河流、水库平面图,搜集、测量、计算水文数据,河流、水库、分洪区、内涝区以及规划工程文字说明,相关塔位高程。

(10) 地质数据库:正射影像图或航片、杆塔地基数据(涉及定位时每级塔的地质数

据)、文档数据(规程规范)、专门性勘察数据及报告、区域地质构造图、物探数据(每级塔土壤电阻率数据)。

2. 按数据的结构分

(1) 数字线化地形图 DLG: 即常用的矢量图, 它是 GIS 进行空间分析和处理使用最多的数据之一, 主要是指各种数字地形图要素信息。其采集方式大致有:

1) 地面实测(目前有多种测量方式, 如常规的平板测图、电子速测经纬仪或全站经纬仪测量等)再转化为数字地图, 或直接利用数字测图的方式采集(如南方 CASS3.0 等数字测图系统);

2) 现有的数字图形, 大部分是 AutoCAD 的 DWG 文件或当前常用的 GIS 商用软件所支持的数据格式, 如 ARC/INFO 的 coverage、MicroStation 的 DGN 以及 MapInfo 的 MIF 等;

3) 纸制地形图的数字化, 数字化的方式包括手扶跟踪数字化和扫描矢量化;

4) 利用空间传感器(GPS、雷达和激光测高仪等)进行采集;

5) 传统的摄影测量(模拟、解析)方式进行数据采集, 并转化为数字图纸;

6) 利用数字摄影测量系统(DPS)进行采集。

(2) 数字高程模型数据(DEM): 表示空间连续起伏的数字模型称为数字高程模型(DEM), 有时候也称为数字地面模型(DTM)。

(3) 数字正射影像地图(DOM): 如果地表的景物按照正射投影的规律来得到影像, 就称为正射影像(Ortho), 它兼有像片和地形图的信息, 相应的数字影像图就叫数字正射影像地图(DOM)。

(4) 数字栅格数据(DRG): 数字栅格类型的数据, 主要指航片、卫片等遥感数据。

5.3.2 空间数据库设计与组织

输变电 GIS 系统的空间数据库的设计包括以下几个部分。

1. 空间数据库分析

要设计一个数据库, 首先必须确认数据库的客户和用途, 这是空间数据库分析的主要任务。空间数据分析是整个空间数据库设计中最重要步骤之一, 是其他各步的基础。

(1) 客户调查。在这一阶段中, 客户调查的目的是确定使用数据库的客户有哪些, 了解各类客户的信息需求和处理要求, 从而确定建立空间数据库的最终目标和基本功能。

(2) 确定研究区域的范围。主要内容有两个方面: 一是确定数据的地理范围, 即区域边界; 二是确定这一范围内的地理定位或控制点。

(3) 源数据的获取。为保证数据的实用性和正确性, 需要对调查资料进行认真鉴别和确认, 严格检查其数据精度, 如图廓的精度、图面表示的标准性以及地物间的逻辑一致性等。另一方面, 在建立空间数据库之前, 所有不同方式的坐标系统必须转化为统一的坐标系统。

2. 空间数据库的逻辑设计

逻辑设计的主要任务是按空间数据分析阶段所得到的地理数据重新进行分类、组织, 从客户观点描述空间数据库的逻辑结构。在逻辑设计过程中, 分两步进行: 一是图块结构

的设计,二是图层信息的组织。图块结构和层结构是空间数据库从纵横两个方向的延伸,同时空间数据库是两者的逻辑再集成。

(1) 图块结构设计。在空间数据库中,地图以文件形式进行存放,然而集中存放地图却受到下列诸多因素的限制:

1) 磁盘容量。地图的比例尺越大,覆盖的地理范围就越广,因而在计算机中需要保存巨量甚至海量的地理数据,然而磁盘的容量往往是有限的,不可能将数据全部集中存放在一个数据文件中。

2) 查询分析效率。对地理数据的查询分析一般是在某个局部范围内展开。如查询某范围内的地质情况。如果数据文件很大,将直接影响到数据的读取速度。

3) 数据库维护。一旦系统出现故障或客户操作不慎,将破坏整个地理范围内的数据,因此不便于对数据库进行维护。

考虑到以上因素,为了在计算机中对大容量的空间数据进行有效地组织,需要将所研究的地理区域分割成两块或多块独立的块,然后对这些图块建立空间索引。

这里,图块的结构构成空间数据库的基本组成部分。在空间数据中,用图块来表示地理区域互不重叠的单一要素。从形状上,图块通常是规则的正方形,例如经纬差为 30° 的正方形;也可以是任意形状,例如一个县,或者一个行政管理单位;还可以依据特征将图块划分成不规则边界。从大小上,图块可以是任意尺寸,图块尺寸根据实际需要而定。一般一个图块不能太大,否则在数据传输和处理过程中易造成计算机存储空间的溢出。图块划分尺寸根据实际需要而定。一般地,图块划分的原则如下:

第一,按存取频率较高的空间分布单元划分图块,以提高数据库的存取效率。

第二,图块的划分应使基本存储单元具有较为合理的数据量。数据量过大,会造成查询分析效率低下;数据量过小,则不便于数据管理。

第三,在定义图块分区时,应充分考虑未来地图数据更新的图形属性信息源及空间分布,以利于更新和维护。

在多数情况下,图块按照地图图幅大小划分,如小比例尺地图按经纬线分幅,大比例尺地图按矩形分幅。由于分幅后会出现某一空间实体跨越不同图幅,空间实体被分割成若干空间基本单元情况,因此需要在图幅、空间实体基本单元之间建立连接关系。这种连接关系主要通过建立空间索引表来实现,即建立:①图幅总索引表,记录各个图幅在整个区域的位置;②空间实体索引表,记录每个空间实体在各个图幅上的分布;③基本单元索引表,记录每一基本单元与邻近8个图幅所连接的图幅号以及基本单元序号。通过建立空间索引表来保证空间数据库的无缝连接和有效空间查询。

(2) 图层信息组织。为了提高地图中各个要素的检索速度,便于数据的灵活调用、更新及管理,在空间数据库中,往往将不同级的图元要素进行分层存放,每一层存放一种专题或一类信息。按照客户一定的需要或标准把某些相关图元要素组合在一起成为图层,它表示地理特征以及描述这些特征的属性的逻辑意义的集合。在同一信息中,数据都具有相同的几何特征和相同的属性特征。

每个图层具有如下特征:

1) 可见性。图层可以打开或关闭。打开的图层是可见的, 关闭的图层则不可见。只有打开的图层才能在屏幕上显示或在绘图仪上绘出。

2) 绘图特征。同一图层具有相同的绘图颜色、相同类型的线型、相同的符号注记等绘图特征。

3) 叠加性。各个不同的图层可以相互叠加, 形成一种多图层的综合图。这样一个综合图可包括行政区划、道路、建筑物、控制点等许多层, 每一层描述研究区域的一类特征。在地理数据中, 许多要素可以用于构成图层, 一般根据数据之间的逻辑关系把数据组织成若干层面。在构造图层时, 可考虑到以下策略:

第一, 根据空间实体要素类别的不同来划分图层。地理要素在空间形态上可分为点、线、面三种基本要素。构造层的典型做法是将点状、线状和面状实体分别存放在不同的层上。例如假设一幅地图上有控制点、道路等要素, 控制点的位置用点表示, 道路用线表示, 则可将控制点和道路分别存放在两个不同的层上。

第二, 根据专题来划分图层。同种要素类别的空间实体根据某种关键属性进行专题划分。每层对应一个专题, 包含一种或几种不同的信息服务于某一特定的用途或目的。例如一幅地图中有河流和道路等要素, 河流和道路都是用线特征表示的。为了便于以后的处理, 常常将它们组织在两个不同的图层上。

第三, 根据客户的使用目的来划分图层。不同的客户所需的信息不同, 根据客户的目的将各专业信息要素分开, 以利于客户提取信息。

第四, 考虑一些特殊情况。例如地质情况复杂, 要素很多, 但不可能分得太细, 可综合在一起, 作为一层处理。

第五, 在具体数据库设计时, 图层划分还需要根据计算机硬件的存储量、处理速度以及软件的限制等来决定。

3. 空间数据库的物理设计

物理设计的主要任务是使空间数据库的逻辑结构能在实际的物理存储设备上得以实现, 即进行数据库物理结构的设计和物理建库。建立一个具有较高性能的物理数据库, 关键在于构造一个数据模型。空间物理数据库采用层次模型组织方式, 如图 5-2 所示。

图 5-2 中, 地图作为树的根, 表示一个完整的地理数据库, 地图中的地物要保持存储、表达的完整性和一致性。根据图块的划分原则, 将空间数据分为若干图幅, 图幅构成树的节点。为了在地图中有效地组织和表达空间地理实体, 按照地物的大小对其分级抽取, 对不同大小的地理几何对象表示进行整理分层, 层中每种类型的要素均由不同的文件来定义, 每种要素构成树的叶节点, 由此形成内部空间索引系统。

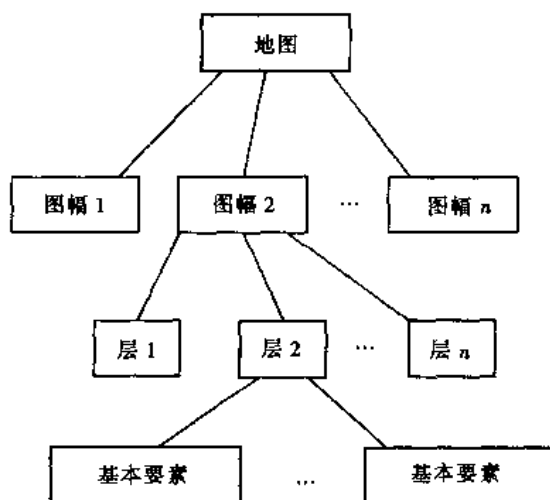


图 5-2 空间物理数据库的层次模型

该层次模型是以记录类型为节点的有向树，节点记录之间具有一定的从属关系。如果把层次模型中的记录按照从上到下、从左到右的顺序排列就得到一个记录序列，因此物理上可以通过层次顺序和路径查找记录实现该层次模型。

具体地，物理建库的一般过程为建立图块工作区，建立空间数据库的库体框架，建立层框架，数据采集、入库。

4. 空间编码

要建立空间数据库的有效空间索引机制，必须建立起分层格网与空间关系的函数表达，即对每一个分层格网进行有效地空间编码。在进行编码时，应考虑到：①分层格网编码具有惟一性；②能有效地表达空间位置；③能区分各个层次关系；④空间编码具有可扩展性。目前常见的空间编码方法有基于四进制的 Morton 编码方法、基于十进制的 Morton 编码方法以及行程编码方法等。

5.3.3 空间数据库管理与更新

空间数据管理是以给定的内部数据结构为基础，通过合理地组织管理，力求有效地实现系统的应用要求。假如说内部数据结构是寻求一种描述地理实体的有效的数据表示方法，那么空间数据管理就是根据应用要求建立实体的数据结构和实体之间的关系，把它们合理地组织起来，便于应用。显然，通常所讨论的数据库管理系统（DBMS）是解决这一问题的主要途径。

目前，空间信息系统的数据管理基本上是采用数据文件管理方式。设计者根据应用目的，采取一种最方便、最有效的数据组织和存储管理方式，所以每个系统各不相同。内部数据结构相同的矢量结构（或格网结构），但实体属性的编码方法、字节安排、记录格式、数据文件的组织等未必一样，数据组织往往和采用的算法相联系。有些系统把实体的几何属性和非几何属性组织在同一记录中，如地理信息检索和分析系统 GIRAS；有的则把二者分开，如加拿大地理信息系统 CGIS 中的图像描述集（IDS）和数据描述集（LDS）。通常数据文件顺序存储在磁带或磁盘上，文件可以按实体的类型来分：一个文件、一类实体或一类属性，也可以按地区范围来分。文件之间基本上是独立的，没有交叉联系。

显然，这种数据文件的管理方式，对某一具体应用来说，可能是简单方便的，但有很大的局限性，难以实现资源的共享。为了扩大系统的适应性，增强数据的管理能力，一个倾向的意见是，非几何属性的数据用 DBMS 来管理，几何属性的数据则用文件系统来组织。常用的数据模型有三种：层次数据库模型；网络数据库模型；关系数据库模型。在此不作详细介绍。

输变电网 GIS 的数据具有很强的实效性，必须及时更新数据库。数据更新是地理信息系统建立地理数据的时间序列，满足动态分析的前提。数据更新分为全面更新和局部更新两种。数据更新的关键在于建立遥感与地理信息系统的借口，提高不同数据结构转换的精度和效率，以及提高遥感数据的几何精度和分类精度。因此，可利用航空像片和卫片及时更新地形数据，根据线路的变化及时更新输变电路的布置图，同时收集各种最新的统计资料及时更新属性数据库。

5.4 输电线路规划设计中的选线与排位



5.4.1 输电线路选线与排位的几个关键步骤

输电线路规划设计中选线, 又称输电线路路径选择, 是在叠合有地物信息 (即矢量地形图 DLG) 的正射影像图上用鼠标即时选取线路路径, 也可以设计成让客户使用空间坐标 (即时输入或文件输入) 来确定转角的方式进行选线, 还可以采用交互的方式选线, 即鼠标与键盘结合输入转角点来选线。选线的过程中客户可以直观地在屏幕上看到路径经过处的各种地形地貌情况 (正射影像图和矢量图甚至是更加直观形象的地形景观图)。

在选线阶段, 系统可以利用 GIS 的空间分析和查询功能进行各种技术经济指标的统计, 以便客户对该线路的合理性进行判断。此外, 为了实现多线路的综合比选, 在同一个工程中可以进行多条线路的选取, 并能同时显示多条线路的统计信息。

排位, 是指在已生成的平断面图上实现杆塔的排位。有人工排位、自动排位和半自动排位三种情况。目前主要采用人工排位和半自动排位, 实现真正的自动排位难度还比较大。

输变电 GIS 的选线与排位功能主要包括以下几个关键步骤。

1. 影像图与矢量图的叠加

在正射影像图上叠合矢量地物信息的目的是为了在选线时能方便地统计线路沿线地物信息 (如房屋、水系、道路等), 使得选线直观形象。

由于影像图与矢量图都具有可量测信息, 因此两者是可以叠加在一起进行显示的, 具体实现方法是将影像上每个像素的平面坐标解求出来, 进行与矢量图的配准。可以通过编程实现, 或利用一些软件系统自动提供的功能实现。

2. 选线

选线相对比较简单, 主要是获取客户的输入信息 (转角点)。但这是一个系统与客户交互的操作过程, 因此系统应做到尽量方便客户的选线操作。

在选线过程中, 应提供景观图的显示功能, 以使客户更加直观地了解线路路径经过处的各种地形起伏情况。

3. 统计与分析

统计主要是在所选的路线路径上进行。这需要用到 GIS 的缓冲区生成和空间检索手段。

缓冲区生成的矢量算法, 常见的有角平分法。这种方法由画逐个线段的简单平行线, 尖角光滑矫正和自相交处理三步构成。由于异常情况多, 矫正过程复杂, 不易完备地实现。缓冲区生成的另一个直观的算法是, 逐个求得每个线段单独的缓冲区, 然后用多边形叠置算法依次合并。每个线段单独的缓冲区是一个胶囊状的简单多边形, 它的生成是简单的 O (1) 算法, 因此通过多边形叠置求缓冲区的算法不比矢量叠置算法本身更复杂。通过多边形叠置求缓冲区的算法, 涉及大量的线段之间关系的求解。求线段的正常交点并不

费时, 但该算法在种子轨迹的相邻线段连接处, 大量出现线段重叠或部分重叠的异常情形, 消耗计算机运算时间, 影响速度。还有一种快速算法是缓冲曲线和边约束三角网辅助的矢量缓冲区生成算法。其算法的基本思想分两步, 第一步生成一种缓冲曲线, 它通过种子轨迹和规则多边形的边界组合运算简化得到。算法的第二步, 将缓冲曲线切割组合为缓冲区。算法通过创建边约束三角网辅助, 即缓冲三角网, 辅助缓冲曲线的自相交和相交求解; 算法还利用环绕系数在缓冲三角网中传递性质, 对已经切割并加入内点后的缓冲曲线, 区分它的线段, 哪些是缓冲区的边界, 哪些不是缓冲区的边界, 将不是缓冲区边界的线段剔除, 将属于缓冲区边界的线段重组得到缓冲区。算法通过缓冲曲线, 在理论上减少了参与切割重组的线段数目, 将不可能成为缓冲区边界的线段在一开始就剔除; 通过边约束三角网和环绕系数的传递将线段切割重组的过程优化, 不相交的线段之间免去比较判断, 从而达到快速生成缓冲区的目的。

缓冲区建成以后, 可利用缓冲区多边形对 DLG 上的各种信息进行查询, 主要是检索出包含于或相交于该缓冲区多边形的各种地理特征信息, 如房屋、水系、道路、电力线以及其他对架空送电线路有影响的因素。查询到所需的各种地理特征之后, 便是要将各类特征的相关属性进行分类统计, 只需将各特征的属性信息分类提取出来即可。将各种统计信息以非常直观的形式提供给客户, 需要时还可以打印输出。

另外, 系统还应根据实际需要在程序中实现各种数字信息的计算, 例如线路转角、房屋偏距与累距、一二级弱电力线的交叉角计算等。由于各个特征的具体坐标都是已知的, 根据简单的几何公式便可以方便地进行各种计算。也可利用一些软件提供的算法自动计算, 如 MO (MapObjects) 可以进行多边形特征面积的量算 (实际上已是多边形对象的一个属性, 可直接提取), 特征之间的距离量算等, 可以直接得到许多需要的结果。

4. 多路径综合比选

多路径综合比选是允许客户在一个界面上选择多条不同的路径, 并可同时查看每条线路的各种统计信息和计算结果, 以便进行各方面指标的综合对比, 以从中选择一条最为经济、合理的线路。

5. 平断面图制作

平断面图的制作是输电线路规划设计的重要结果。它涉及许多数学模型, 为了深入讨论其过程, 下面进行深入讨论。

5.4.2 基于 GIS 的输电线路选线与排位的平断面图制作原理

平面制作包括平断面图制作、线路断面图提取、带状地形图提取、带状影像图提取和平断面图合成等过程。

1. 平断面图的作用

平断面图是输变电系统线路定位的重要成果之一, 也是杆塔定位的直接依据, 平断面图的好坏直接关系到定位的质量。因此, 平断面图的生成是输变电 GIS 最重要的功能之一。

2. 平断面图制作

平断面图的基本内容包括：①线路断面图，包括各种重要因素在断面图上的表示；②线路带状地形图（又叫带状平面图），主要包含线路经过处一定范围内的各种地理要素信息；③线路带状影像图，即与带状地形图一致的带状正射影像图。因此，生成平断面图的过程就是提取上述三种信息以及这些信息合成的过程。

3. 线路断面图提取

线路断面提取是在数字高程模型（Digital Elevation Model—DEM）上通过内插的方法进行的。DEM 是数字地面模型（Digital Terrain Model—DTM）地形分量的一种数字表达，它是表示某一区域 D 上地形的三维相量有限序列 $\{V_i = (X_i, Y_i, Z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中 $(X_i, Y_i) \in D$ 是平面坐标， Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高程。DEM 有多种表示形式，主要包括规则矩形格网（Grid）和不规则三角网（Triangulated Irregular Network—TIN）等形式。规则格网 DEM 在平面上的 (X_i, Y_i) 成规则排列，因此 DEM 可简化为一维相量序列 $\{Z_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ ，规则格网 DEM 存储量最小，便于使用且易于管理，因而是目前运用最广泛的一种形式。但其缺点是不能准确表示地形的结构与细节，因此基于 DEM 描绘的等高线不能准确地表示地貌。为克服其缺点，可采用附加地形特征数据，如地形特征点、山脊线、山谷线、断裂线等，从面构成完整的 DEM。若将按地形特征采集的点按一定规则连接成覆盖整个区域且互不重叠的三角形，构成一个不规则三角网 TIN 表示的 DEM，通常称为三角网 DEM 或 TIN。TIN 能较好地顾及地貌特征的点、线，表示复杂地形表面比矩形格网精确。但这种表示也存在缺点，主要表现为数据量较大，数据结构较复杂，因而使用与管理也较复杂。另外，也可以采用 Grid—TIN 混合形式的 DEM，这样可以充分利用上述两种形式的优点。

利用规则矩形格网 DEM 可以制作直观的立体透视图和模拟景观图，如果再叠加正射影像图（DOM）则可以表示地形的真实景观。通过 DEM 内插线路路径断面一般采用双线性内插或双三次卷积的方法。这里介绍双线性内插法，双线性内插又叫双曲面内插，是一种多项式曲面拟合的方法。其具体实现过程如下。

根据线路转角点坐标计算线路每条线段的倾斜角：

$$\tan\theta_i = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

其中 θ_i 为第 i 条线段的倾斜角， (X_i, Y_i) 、 (X_{i+1}, Y_{i+1}) 分别为第 i 和 $i+1$ 个转角点坐标，假设线路有 n 个转角点，则有 $n-1$ 条线段，相应的具有 $n-1$ 个倾斜角。需要注意的是，在具体的程序编制中应该考虑到线段平行于 Y 轴的情况（ $X_{i+1} = X_i$ ）以及相应的处理方法。

以一定的采样间隔 Δs （如 0.1m）对线路进行采样，则各采样点的平面坐标分别为

$$X_{ij} = X_i + j\Delta s \cos\theta_i \quad i = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, 2, \dots, m_i$$

$$Y_{ij} = Y_i + j\Delta s \sin\theta_i \quad i = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, 2, \dots, m_i$$

其中， (X_{ij}, Y_{ij}) 为第 i 条线段第 j 个采样点的坐标， m_i 为第 i 条线段上的采样点数，其计算方法如下：

$$m_i = \text{INT}(\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} / \Delta s) \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

注意到上面的公式中没有四舍五入，而是将最后不足一个采样间隔的点舍去了。实际上，在计算采样点坐标的时候是从起点 (X_{ij}, Y_{ij}) 开始的，因此每条线段的起点都是采样间隔点，而终点除最后一段外就是后一段的起点，所以在具体编程处理的时候，只需在所有采样点内插完毕后，将最后一个转角点作为采样点进行一次内插即可。

采样间隔 Δs 的取值关系到断面提取的精度、速度以及断面的数据量等问题，显然它们之间只能寻找一个合理的中间值。因此，采样间隔一般是不固定在程序中的，而是可以根据具体的地形情况由客户来控制采样间隔的大小。如果地形起伏较大，则应取较小的采样间隔，而相应的计算量和断面的数据量也将增加，反之则可以取较大的 Δs ，以提高处理速度和减少断面的数据量。

根据平面坐标 (X_{ij}, Y_{ij}) 计算采样点 N_{ij} (N_{ij} 表示第 i 条线段的第 j 个采样点) 所在格网的行列号 (R_{ij}, C_{ij}) ：

$$R_{ij} = \text{INT}((X_{ij} - X_0) / \Delta x) + 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, 2, \dots, m_i$$

$$C_{ij} = \text{INT}((Y_{ij} - Y_0) / \Delta y) + 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, 2, \dots, m_i$$

其中， (X_0, Y_0) 为 DEM 格网起点的坐标， Δx 、 Δy 分别为 X 、 Y 方向上的 DEM 格网的采样间隔。

根据采样点 N_{ij} 所在格网的 4 个角点数据，进行双线性内插，计算采样点 N_{ij} 的高程值。

首先确定一个双线性多项式：

$$Z = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 a_{mn} X^m Y^n = a_{00} + a_{10} X + a_{01} Y + a_{11} XY$$

或者用矩阵形式表示为

$$Z = [1 \quad X] \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Y \end{bmatrix}$$

利用 4 个已知数据点的平面坐标和高程值求出 4 个系数 a_{00} 、 a_{01} 、 a_{10} 与 a_{11} ，然后根据待定点的坐标 (X, Y) 与求出的系数内插出该点的高程。

双线性多项式的特点是：当某个坐标 X (或 Y) 为常数的时候，高程 Z 与坐标 Y (或 X) 成线性关系，故称其为“双线性”。

上述过程在求系数时需要求解线性方程组的解，即牵涉到矩阵的求逆运算。当内插点数量很大时，系统的运算量很大。实际的情况并没有如此复杂，因为所运用的 DEM 格网的平面数据为规则矩形或正方形，因此可以直接导出计算的内插公式。如图 5-3 所示，可由双线性多项式的定义、直积运算或阵列代数推导出内插公式。

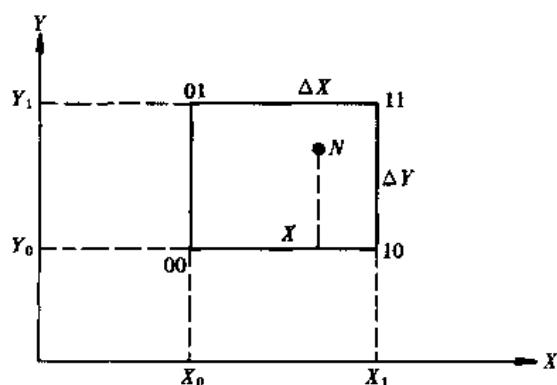


图 5-3 N 点所在的格网

下面用矩阵直积法来推求规则矩形格网双线性内插的公式。

由 N 点所在格网 4 个角点 Z_{mn} ($m, n = 0, 1$)，列出关于系数 a_{mn} 的矩阵方程

$$\begin{bmatrix} Z_{00} \\ Z_{10} \\ Z_{01} \\ Z_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_0 & Y_0 & X_0 Y_0 \\ 1 & X_1 & Y_0 & X_1 Y_0 \\ 1 & X_0 & Y_1 & X_0 Y_1 \\ 1 & X_1 & Y_1 & X_1 Y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{10} \\ a_{01} \\ a_{11} \end{bmatrix}$$

或写为

$$\underset{4 \times 1}{Z} = \underset{4 \times 4}{F} \underset{4 \times 1}{A}$$

因此

$$\underset{4 \times 1}{A} = \underset{4 \times 4}{F^{-1}} \underset{4 \times 1}{Z}$$

由于

$$F = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & X_0 \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \cdot 1 \begin{bmatrix} 1 & X_0 \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \cdot Y_0 \\ \begin{bmatrix} 1 & X_0 \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \cdot 1 \begin{bmatrix} 1 & X_0 \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \cdot Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_0 \\ 1 & X_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Y_0 \\ 1 & Y_1 \end{bmatrix} = \underset{2 \times 2}{X} \otimes \underset{2 \times 2}{Y}$$

其中 \otimes 为矩阵的直积运算符号。根据直积的运算规则，得

$$\underset{4 \times 4}{F^{-1}} = (\underset{2 \times 2}{X} \otimes \underset{2 \times 2}{Y})^{-1} = \underset{2 \times 2}{X^{-1}} \otimes \underset{2 \times 2}{Y^{-1}}$$

由此将四阶矩阵的求逆转变为两个二阶矩阵的求逆，显然运算简单化了，并且由于 $X_1 - X_0 = \Delta x$ ， $Y_1 - Y_0 = \Delta y$ ，则内插公式可简化为

$$\begin{aligned} Z_N = & \left(1 - \frac{X}{\Delta x}\right) \left(1 - \frac{Y}{\Delta y}\right) Z_{00} + \frac{X}{\Delta x} \left(1 - \frac{Y}{\Delta y}\right) Z_{10} \\ & + \left(1 - \frac{X}{\Delta x}\right) \left(1 - \frac{Y}{\Delta y}\right) Z_{01} + \frac{X}{\Delta x} \frac{Y}{\Delta y} Z_{11} \end{aligned}$$

其中， Z_N 为内插的采样点 N_y 高程， (X, Y) 为采样点的平面坐标 (X_y, Y_y) ， Δx 、 Δy 分别为 DEM 格网在 X 、 Y 方向上的采样间隔。

通常 $\Delta x = \Delta y = L$ ，则可进一步简化内插公式为

$$\begin{aligned} Z_N = & \left(1 - \frac{X}{L}\right) \left(1 - \frac{Y}{L}\right) Z_{00} + \frac{X}{L} \left(1 - \frac{Y}{L}\right) Z_{10} \\ & + \left(1 - \frac{X}{L}\right) \left(1 - \frac{Y}{L}\right) Z_{01} + \frac{X}{L} \frac{Y}{L} Z_{11} \end{aligned}$$

根据上述公式将各采样点高程内插出来并连成曲线，则可得到所需的地形断面图。

对于输变电路来说，平断面图是排塔的依据，它所包含的断面信息并不只是地形断面，还应包含其他与线路相关的重要信息。基本的地形信息可通过上述方法由 DEM 内插得到，但线路路径所穿过的房屋也应表示在断面上，而且对线路有影响的房屋也应在断面上有标注（用虚线投影到断面图上），并且要注明房屋的高度。此外，风偏危险点位、平面要素以及交叉跨越的电力线等对电力线路有影响的因素也应表示在断面上，相应的点位高程、电力线等级等信息也应按规定表示在断面图上。对于计算机难以自动识别的某些要

素（如危险点位），则可采用适当的人工干预方法进行。

4. 带状地形图提取

带状地形图提取是根据所选线路路径，从数字线化地形图（DLG）中提取出线路路径两侧各一定距离（一般取 50m）内的地形信息并拼接成与线路一致的带状地形图。带状地形图只是原地形图的一部分，因此首先要将需要的地形图进行裁剪。另外，由于所选路径一般情况下都不会是一条平行于坐标轴的直线段，而是由多条具有一定转角的线段组成的，因此裁剪过后的地形特征必须经过一定的坐标旋转才能拼接起来。

（1）特征裁剪。地形图的裁剪包括地形点、线、多边形以及注记等特征的裁剪。点的裁剪方法很简单，只需判断点是否落在裁剪区域（对于带状地形图提取来说，裁剪区域是一个具有一定方向的矩形）内即可（在图形学中称为可见）；线的裁剪需要对线特征上每条线段都进行裁剪操作；而多边形的裁剪过程更为复杂，应该满足裁剪的结果仍然是多边形；注记的裁剪实际上是对注记点位（或注记线、多边形）的裁剪。因此，裁剪的主要工作是对线和多边形的裁剪。

直线路段的裁剪算法有很多种，如 Sutherland-Cohen 算法、中点分割法、梁友栋 - Barsky 算法以及快速算法等，在实际编程时可依据具体情况采用不同的算法。下面介绍其中的一种中点分割法，其他的算法可参阅有关资料。

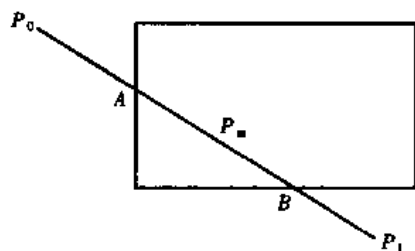


图 5-4 中点分割法线段裁剪

中点分割法的示意图如图 5-4 所示。

中点分割法的示意图如图 5-4 所示。

设要裁剪的线段为 P_0P_1 。该方法可分成两个过程平行进行，即从 P_0 出发找出离 P_0 最近的可见点（图 5-4 中的 A 点），和从 P_1 点出发找出离 P_1 最近的可见点（图 5-4 中的 B 点）。这两个最近可见点的连线就是该线段的可见部分。从 P_0 出发找最近可见点的方法是先求 P_0P_1 的中点 P_m ，若 P_0P_m 不能定为显然不可见（即线段的两端点均在裁剪窗口的某一条边的外侧），则以 P_0P_m 代替 P_0P_1 ，否则以 P_mP_1 代替 P_0P_1 ，再对新的 P_0P_1 求中点 P_m ，重复上述过程，直到 P_1P_m 的长度小于给定的阈值 ϵ 为止。图 5-5 是求 P_0 的最近可见点的算法框图。求 P_1 的最近可见点的框图是一样的，只要把 P_0 和 P_1 交换即可。在具体处理时，阈值 ϵ 的取值范围直接影响到裁剪过程的计算量。由于二分计算过程只要做加法和除 2，所以总体的运算速度较快。另外，如果允许两个找最近点的过程平行进行，则可使裁剪速度加快。

对于一条线特征来说，裁剪的结果应该还是一个特征，只是这个特征可能是由多个部分（Parts）组成的，具体裁剪的结果取决于编制程序时所用的存储数据结构。但是对于平面断面图中的平面图而言，所需的信息只要是地形的相对位置，在输出的成果中也只有图形信息，而对于特征的拓扑关系以及属性等信息则可以不加以考虑，因此只需要能将裁剪后的线状地形信息完整地表示在平面图上即可，这样就可以不考虑前面所提到的特征的拓扑及属性信息，可以简化裁剪的处理工作。

对于多边形的裁剪算法也有多种，其中 Sutherland-Hodgman 算法是一种十分简便的方法，其基本思想是对多边形用裁剪窗口的四条边依次裁剪四次（见图 5-6）便可得到裁剪

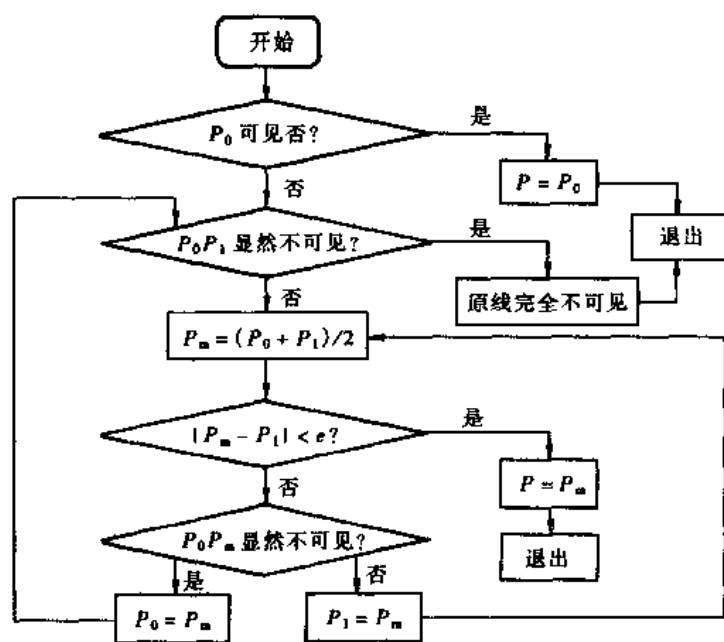


图 5-5 中点分割法框图

后的多边形，具体算法实现请参阅参考文献。

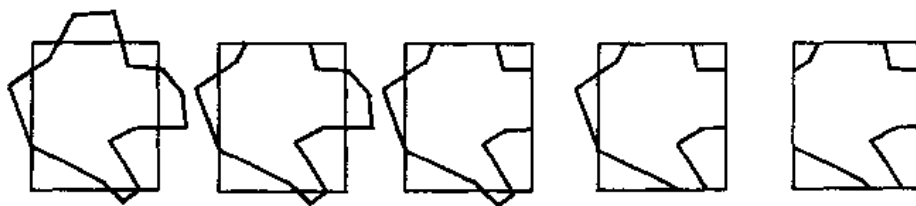


图 5-6 Sutherland-Hodgman 多边形裁剪算法

另外有一种对多边形快速裁剪的方法，它是一种基于直线段的快速裁剪方法而设计的裁剪算法，在此不做介绍。

上面所讨论的一些裁剪算法中，如果裁剪矩形并不是与坐标轴平行的，那么相应的判断过程就显得更为复杂，所需的计算量也将增大。由此可以考虑用当前裁剪矩形的最小外接矩形（平行于坐标轴）来进行裁剪，然后进行坐标旋转，之后再做一次裁剪操作。这种方法对于具体的裁剪操作简单明了，但是需要进行两次裁剪，因此对于带状地形图提取的速度也有影响。

(2) 坐标旋转与平移变换。由于地形图上的地物信息都具有特定的地理坐标，而所拼接的带状地形图上的特征显然并没有统一的坐标，而只是表示线路各线段两侧地物的相对位置而已。因此，这跟手工图纸拼接的方式有着很大的区别，不能简单地将地形图的相应区域裁剪后就能将所有矩形带状地形图区域拼接起来，而必须以一定的方向为参考坐标系的方向，将每段带状地形图的所有特征进行旋转使之适应新的参考坐标系，这样才能拼接起来。例如，可以线路第一条线段所在方向为 X 轴，与此方向相垂直的方向为 Y 轴，其他各带以此为准进行旋转；也可直接以原坐标系为参考坐标系而将每段带状地形图旋转

到与该方向平行。此外,在进行坐标旋转变换过程中,各带内的特征均是围绕该带中心线(即线路线段)的起点旋转的,因此在各特征坐标旋转之前,需要先进行坐标的平移,而每两段带状地形图的坐标原点之间还有一个 X 方向上的偏移,因此每段特征的坐标除了上述原点的平移外,在 X 方向上都有一个累积偏移量 δD_i

$$\delta D_i = \sum_{j=1}^{i-1} L_j \quad i = 2, 3, \dots, n$$

其中, L_j 为第 j 段线路的长度, $\delta D_1 = 0$ 。这样才能保证前后两带地形图之间的连接。

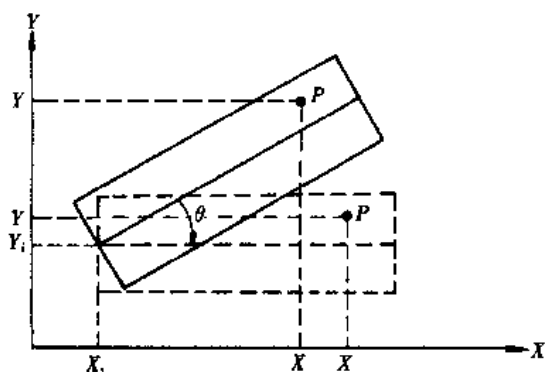


图 5-7 坐标旋转变换

图中的旋转角度 θ (逆时针方向为正) 假设已经在转角计算或断而提取过程中求得, 则图 5-7 中的地物特征点 $P(X, Y)$ 经坐标旋转变换后的坐标 $P'(X', Y')$ 为

$$X' = (X - X_i)\cos\theta - (Y - Y_i)\sin\theta + \delta D_i$$

$$Y' = (X - X_i)\sin\theta + (Y - Y_i)\cos\theta \quad i = 1, 2, \dots, n$$

注意上述公式与一般情况下的坐标旋转公式稍有不同, 这是由于旋转的顶点是线段的起点, 且每段特征在 X 方向上有一个累积偏移量 δD_i 。

所有裁剪的特征点都经过上述旋转过程后就能拼接成一条带状地形图了。

5. 带状影像图提取

带状影像图是在正射影像图 DOM 的基础上提取的。DOM 具有一般地图的特征, 因此可以与 DLG 进行叠加显示, 还可与 DEM 一起制作三维立体景观图。DOM 的生产过程也经历了从模拟正射投影仪到解析正射投影仪再到 DPS 的数字微分纠正生产的过程。

带状影像图的提取过程与带状地形图的提取有相似之处, 亦即需要进行裁剪和旋转操作。但是由于二者所针对的处理数据不同(数字矢量图 DLG 和数字正射影像地图 DOM), 因此在进行具体的处理时二者又有很大的区别。

带状影像图的提取操作是将裁剪与旋转操作合二为一进行的, 即在旋转的过程中进行裁剪, 在数字图像的处理中称之为影像的重采样。其基本处理过程如图 5-8 所示。

根据带状影像图 (b) 上某个重采样点像素 P 在该带状影像图上的行列值计算出该像素中心在该带中的地面坐标 (X', Y') 。计算公式如下:

$$X' = X'_0 + R_p \Delta x$$

$$Y' = Y'_0 + C_p \Delta y$$

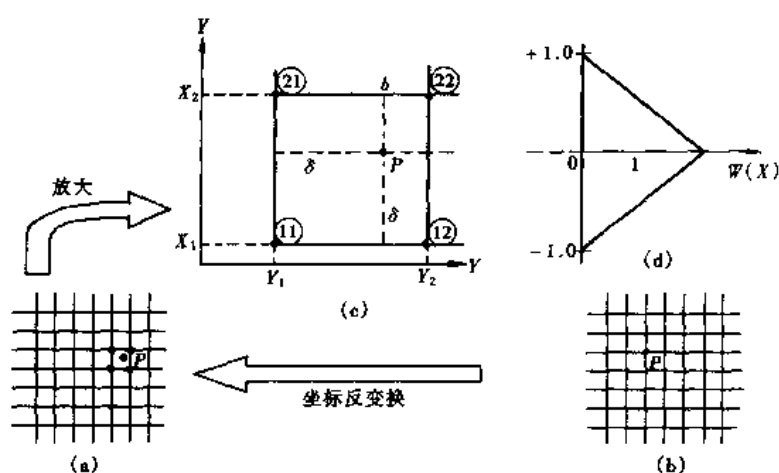


图 5-8 影像重采样

(a) 原始影像; (b) 带状影像; (c) 行列值计算; (d) 双线性卷积和

其中, (X'_0, Y'_0) 为带状影像左下角像素中心点在该带状坐标系中的坐标。显然, 若以带状中心线的第一个像素中心点为带状影像图坐标原点, 则有 $X'_0 = 0$, $Y'_0 = -\Delta W/2$ (即带宽的一半)。 R_p 、 C_p 分别为带状影像图上的像素 P 的行列号, Δx 、 Δy 分别为正射影像图在 X 和 Y 方向上的分辨率 (即一个像素所代表的实际尺寸)。

根据像素点 P 在带状坐标系中的坐标 (X', Y') 及该带起点在原始坐标系中的坐标 (X_i, Y_i) 反算其在原始影像 (a) 中的坐标 (X, Y) 。计算公式为

$$X = X_i + X' \cos \theta - Y' \sin \theta \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$Y = Y_i + X' \sin \theta + Y' \cos \theta \quad i = 1, 2, \dots, n$$

根据 P 点在原始影像中的坐标 (X, Y) 计算与之相邻的 4 个原始像素中左下角像素 [图 5-8 (c) 中的 11 像素] 的行列号:

$$R = \text{INT}((Y - Y_0)/\Delta y)$$

$$C = \text{INT}((X - X_0)/\Delta x)$$

并计其偏离该采样点比例的 Δx 、 Δy 的值

$$\Delta x = (X - X_0)/\Delta x - C$$

$$\Delta y = (Y - Y_0)/\Delta y - R$$

由图 5-8 (c) 可以看出离 P 点最近的 4 个原始采样点像素分别为 11、12、21、22。

利用双线性插值法内插像素 P 的灰度值。双线性插值法的卷积核是一个三角函数, 表达式为

$$W(X) = 1 - |X| \quad 0 \leq |X| \leq 1$$

可以证明, 利用上式作卷积对任一点进行重采样与用 sinc 函数 (一个恢复地面原始影像的卷积核函数, 有关其概念请参阅相关资料) 有一定的近似性。因此利用双线性插值法可以比较有效而方便地对影像进行重采样, 此时需要该点 P 邻近的 4 个原始像素参加

计算,如图 5-8 (c) 所示。图 5-8 (d) 表示上述双线性卷积核图形在沿 X 方向进行重采样时所应放的位置。

计算可沿 X 方向和 Y 方向分别进行。即先沿 Y 方向分别对点 a 、 b 的灰度值重采样,再利用该两点沿 X 方向对 P 点重采样。在任一方向做重采样计算时,可使卷积核的零点与 P 点对齐,以读取其各原始像素处的相应数值。实际上可以把两个方向的计算合为一个,即按上述运算过程,经整理归纳以后直接计算出 4 个原始像素对 P 点所作贡献的“权”值,以构成一个 2×2 的二维卷积核 W (权矩阵),把它与 4 个原始像素灰度值构成的 2×2 点阵 I 做哈达马 (Hadamard) 积 (两个矩阵 $A = \{a_{ij}\}$, $B = \{b_{ij}\}$ 的哈达马积定义为该两个矩阵中各对应元素值的乘积 $a_{ij} \times b_{ij}$ 所构成的矩阵) 运算得出一个新的矩阵。然后把这些新的矩阵元素相累加,即可得到重采样点的灰度值 $I(P)$ 为

$$I(P) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 I(i,j) W(i,j)$$

其中

$$I(i,j) = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix}, W(i,j) = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}$$

$$W_{11} = W(X_1)W(Y_1); W_{12} = W(X_1)W(Y_2)$$

$$W_{21} = W(X_2)W(Y_1); W_{22} = W(X_2)W(Y_2)$$

由 $W(X) = 1 - (X)$ 得

$$W(X_1) = 1 - \Delta x; W(X_2) = \Delta x$$

$$W(Y_1) = 1 - \Delta y; W(Y_2) = \Delta y$$

再将 $\Delta x = X - \text{INT}(X)$, $\Delta y = Y - \text{INT}(Y)$ 代入可得点 P 的重采样灰度值为

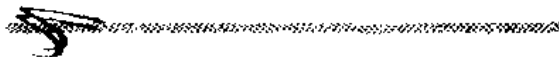
$$\begin{aligned} I(P) &= \text{INT}(W_{11}I_{11} + W_{12}I_{12} + W_{21}I_{21} + W_{22}I_{22}) \\ &= \text{INT}((1 - \Delta x)(1 - \Delta y)I_{11} + (1 - \Delta x)\Delta yI_{12} + \Delta x(1 - \Delta y)I_{21} + \Delta x\Delta yI_{22}) \end{aligned}$$

依次对每个像素进行重采样之后,即可完成带状影像图的提取。

6. 平断面图合成

前面分别讨论了平断面图所需的各种信息的提取方法,其中有矢量地形图、数字影像图,还有经内插的断面图,如何将这几种信息集成在一起合成工程上所需要的平断面图,是一个具体的编程问题,这主要取决于各人的风格与习惯使用的编程工具,作者以为利用 VC 强大的图形和打印功能比较容易实现平断面图的合成。最后工程上需要显示与打印输出的平断面图结果应该是一样的,而数字结果 (往往是一定格式的文件或数据库) 却因为没有统一的数据规范而一般不会相同。此外,上面所采集的各种信息有时并不能完全满足工程上的需要,而需要进行一定的编辑工作,主要是平面图和断面图,因此应当能输出到一种标准的数据文件中 (如比较通用的 AutoCAD 的图形交换文件格式 dxf) 以便进行编辑输出,也可以输出到现有的平断面图编辑工具中,以利用现有的工具进行编辑,当然最好的方法是能够开发出自己的编辑工具并将其集成到系统中,对外则可以提供多种所需的软件接口 (数据格式)。

5.5 雷 电 定 位



雷击是输变电系统故障的主要原因。传统的方法是通过观测雷电参数,进行地落雷密度的测量,随着电力工业的发展,投运的高压线路迅速增长,线路雷击事故增多,故障点的查找工作量很大。另一方面,易把线路的其他事故无根据地亦归结于雷击。在这种形势下,鉴别线路是否落雷以及精确确定落雷杆号就显得很迫切。雷电定位系统是输变电GIS的重要组成部分和主要功能之一。在建立的GIS基础上,充分利用地理信息,建立雷电定位计算模型,进行雷电定位。具体而言,可按指定区域无级缩放显示地图及监测相关目标并任意平移,显示雷击点时间、经纬度、雷电流幅值、极性、定位站号等信息,并自动跟踪当前雷电活动与趋势;自动指示线路走廊中的雷击点位置,指示落雷点与相邻杆塔的距离;指示故障查找的区域,自动生成故障查询图表,并可打印输出;判别是否雷击故障,为事故分析提供技术手段;进行雷电信息数据统计分析,以图形、图表、曲线的形式给出雷电统计参数;确定区域落雷密度,为防雷措施提供参考依据。

下面以湖南省雷电定位系统为例,介绍一下雷电定位系统的具体构成和应用。

1. 基本配置

湖南雷电定位系统(以下简称系统)包括9个探测站、一个中心站、多个客户终端和通信网络,其中通信网络是电力系统的公用微波网络。系统能对全省范围内的落雷信息实时接收、处理、显示、发送和储存。系统能显示落雷的位置、时间、强度、极性,并且能显示雷暴的运动情况;建立了全省输电线路坐标库,能在线路雷击跳闸后极短时间内查出线路受到雷击的故障杆号,指导各线路所的查线工作。

(1) 探测站。9个探测站分设在长沙、常德、凤滩、娄底、冷水滩、郴州、衡阳、怀化 and 岳阳,既考虑了覆盖全省,又重点照顾超高压线路的路径分布。探测站通过电场天线、正交磁场天线实时监测落雷电磁场信号,经放大、峰值取样、压缩等处理,把落雷时间、强度、极性、回击数、方向角、峰值时间等信息,通过调制解调器发至中心站。特别要指出,信号峰点的取样极为重要,否则要么近处落雷、强雷因饱和而丢失,要么对远方落雷、小雷因信号小而丢失。本系统成功采用非线性压缩技术,提高探测装置的动态范围,保证在1~300kA有足够的可靠性。

(2) 中心站。中心站将探测站传送来的落雷信息,根据时间一致原则进行组合,然后按TOA(时差定位)、MDF(磁场定向定位)、TDD(时差技术和磁方向技术的联合定位)等交会方式进行定位计算,并把数据传至客户终端和存入数据库。平时中心站定时对全部探测站进行性能测试和分析,它是系统的核心。

(3) 客户终端。客户终端接受中心站传递来的落雷信息,包括落雷时间、位置、强度、极性、显示在地理位置上,以方便客户对落雷进行查询、分析、统计。湖南系统有近程终端和远程终端,后者包括有调度通信局的调度室以及各电业局。主要技术性能如下:

定位误差:基线区内=1km;基线区外=3km。

探测效率:正常范围内云地闪>90%;误信号率<1%;总探测效率>85%。

雷电强度误差： $\pm 20\%$ （1~300kA 范围）。

计时精度： $<0.1\ \mu\text{s}$ 。

探测站工作环境温度： $-15\sim 75\ ^\circ\text{C}$ 。

2. 应用

湖南系统是先投运 DF（定向定位），然后投运 TOA（时差定位）。作为一个实用化的系统已有 3 a 的良好运行实绩。在雷电数据积累、统计，以及线路雷击点定位上取得了较好的应用效果。

（1）雷电数据的统计应用。根据电力系统防雷工作需要，进行了雷电日、雷电小时、落雷次数、落雷密度、雷电流强度、极性等统计分析。全年 128、881 个落雷中，79.4% 的雷电流分布在 10~40kA 范围，平均值为 31.30kA，超过 100kA 雷电流仅为 0.92%。综合 1996、1997 年测量的 204、465 个落雷得到的全省雷电流概率分布与新规程推荐的分布相比，小电流的落雷次数多，而大电流的落雷概率小。

（2）高压线路雷击点定位及查找。

1）建立输电线路杆塔坐标数据库。建立输电线路杆塔经纬度坐标数据库是线路雷击点定位的基础工作之一。采用 GPS 定位仪对全省 220kV 及以上线路 5000 多公里逐基测量其经纬度坐标，通过数据校验、订正、输入数据库。根据查找需要，数据库中数据可以单条、多条或全部迭加在地区地图上。

2）线路雷击故障点查找方式。当线路雷击跳闸后，调度部门或线路维护单位提供线路名称、跳闸时间，在中心站启动雷击故障查询系统。根据线路名称、查找时刻、时间间隔、线路两侧查询宽度，查询系统自动弹出该线路在该时间段、线路查询宽度内所有落雷，并显示在地图上，同时给出每个落雷的时间、强度、位置与线路距离最近的杆号和距离。

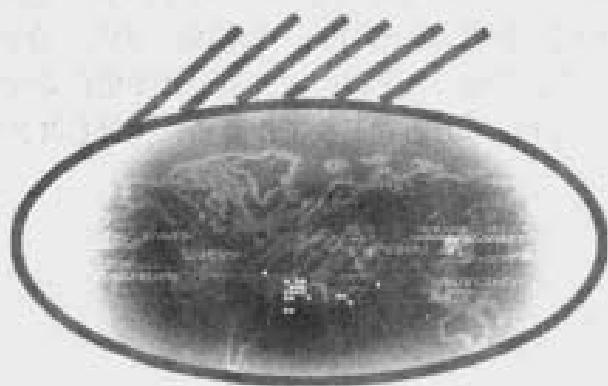
当线路开关跳闸时间不准确，落雷次数多且分布散时，则需要根据雷电流大小、落雷时刻、落雷点与线路的距离等因素，最后由技术人员确定某个杆塔或某几个杆塔作为重点查线杆号。

3）指导查线的实际成效。湖南雷电定位系统用于指导查线始于 1996 年 7 月，1996~1997 年共指导查线 13 次。查出故障点后，在现场对误差进行实地测量，误差在 1km 的占 50% 以上，最大误差在 3km。1998 年 3~6 月共指导查线 10 次。实际故障杆号与雷电定位通知杆号相差不超过 2 的为 7 次，占 70%，最大相差 8 个杆号，已基本满足电力行业的要求，大大减轻了线路人员的查线工作量，缩短了线路故障处理时间。

3. 加速雷电定位系统的推广应用

我国雷电定位系统的开发单位已有多家，基本上都达到了实际应用水平，因此加速全国雷电定位系统的推广应用是当务之急。国外推广应用有两种模式：一是统一国家雷电探测网，如美国的 NLDN，起初是纽约州立大学根据与 EPRI 签定的合同开发的，后由全美全球气象公司改进并投运，用 105 个探测站覆盖美国，包括各电力公司在内的 300 多个客户向网络注册使用；二是日本模式，日本 7 家电力公司各自建立覆盖供电范围的区域网，北海道电力公司、东北电力公司网的探测站均为 7 个，而关西电力公司只用了 3 个探测

站，至今尚无他们是否联网成为整个日本统一雷电定位网的报道。综上所述，推广应用走日本模式比较适合我国国情，所不同的是有的以省电力公司建网，如湖南、山东、陕西、广东；有的以电力集团公司建网，如华北、华东电网。由于国内雷电定位开发单位采用的具体技术还有些差异，因此，各区域网的互联在技术上还有不少工作要做，关键是各区域网要建好、用好。



6

配电管理系统 与 配电自动化系统

在讨论配电地理信息系统前，我们对配电管理系统和配电自动化系统进行简要的讨论。这是因为配电地理信息系统是全面实现配电管理系统和配电自动化系统功能的一种有效技术方法。从系统的体系结构上讲，配电地理信息系统是实现配电管理和配电自动化系统功能的技术支持平台、信息可视化和配电管理直观化的工具。

从配电管理系统的功能分析，配电管理系统包括配电过程自动化管理和配电生产运行维护管理两个主要内容。从信息生成的管理角度分析包括在线信息和离线信息两个方面。因此，配电自动化功能是配电管理系统功能的重要内容之一。

6.1 配电管理系统的发展状况及存在的问题



6.1.1 配电管理系统的发展状况

随着国民经济的不断向前发展，我国城市和农村的用电量也在急剧增加，传统的配电网结构已不能满足各行各业对供电的要求，从而使电能供需双方的矛盾日益突出。因此，迫切需要新的配电管理模式来提高配电管理和运行的自动化水平，以适应当前的社会需求。

在城网改造的过程中，配电网是直接面向客户的电力基础设施，它是由变电站（所）、配电线路和配电变压器等设备组成的一个网络结构，其作用是将电力合理分配到各种客户，它的管理对象包括变电站、开闭所、电缆、线路、杆塔、变压器、断路器、隔离开关等供电设备以及客户，因而对其运行的安全性、可靠性、经济高效的要求很高，同时又由于配电网具有接线复杂、数据量大、变动频繁等特点，这就需要结合现代计算机技术、电子技术、通信技术、网络技术、自动控制技术设计出先进的配电网自动化管理系统，改造现有的配电网，以适应当前电力需求的迫切需要。

配电管理系统 (Distribution Management System—DMS) 是指利用现代高新技术和设备对配电网和客户在正常运行和事故情况下实行监测、保护、控制和管理, 提高供电质量和经济性, 改善服务和提高工作效率, 以实现配电管理自动化。从信息的角度讲, 配电管理系统也是一个信息收集和综合处理的集成系统。配电自动化是 20 世纪 80 年代末首先由美国而后到其他工业发达国家逐步发展起来的, 其内容大致可以分为以下四个方面:

- (1) 馈线自动化: 即配电线路自动化;
- (2) 客户自动化: 这与需方管理含义是相同的;
- (3) 变电站自动化: 它常常是输电和配电的结合部, 而这里仅指其与配电有关的部分;
- (4) 配电管理自动化: 其中包括网络分析。

配电网管理系统自动化对电力系统的安全、可靠、经济、快捷运行具有极其重大的作用和实用价值, 因此研制出一整套适合现代管理要求的配电管理系统将是供电管理部门目前工作的重点。但由于国内配电网自动化起步较晚, 虽然目前对其讨论研究的不少, 但没有形成统一的观点, 因而这方面的研究尚处于探索阶段, 距离完全实现配电自动化的成熟管理系统还存在一定的差距。虽然目前国内有些系统已部分实现了配电管理自动化, 但由于其中还存在许多技术问题, 仍需不断加以补充和完善。

总的来说, 目前国内外对这方面的研究都极为重视, 从理论和实践以及计算机技术、通信技术、电子技术、网络技术、自动控制技术等多个方向对 DMS 综合应用进行了研究和探讨。但由于其中许多问题没有得到解决, 仍需不断深入。普遍来看, DMS 已经取得了很大的进步, 从发展趋势和现有不足来看, 网络化、集成化、通用化、实时性、开放式平台、面向对象设计、电网结构规划、需方管理、实现无人值班、组成混合系统等等将是以后的主要发展趋势。

6.1.2 当前配电管理信息系统存在的问题

1. 配电网基础数据缺乏完整性、及时性和共享性

由于配电网接线复杂、变化频繁, 配电设备数量多, 覆盖面广, 基础数据的信息量非常庞大。近年来计算机技术已大量应用于各个领域, 这都需要将这些数据集成为基础数据, 以便综合应用。但现行系统只对部分数据进行管理, 还有许多没有参与到管理信息系统中去, 应用数据缺乏完整性。另外, 随着城市的飞速发展和客户的业扩增容, 配电网不断扩大, 使得这些变动数据的收集和更新困难, 导致数据的现实性不强, 从而限制了配电网综合管理决策功能的正常发挥。

现行信息系统大多数都是孤立的系统, 没有形成网络共享数据, 其功能比较单一, 有的甚至重复建立数据库, 这样造成了数据准确性低, 冗余大, 易导致数据的不一致, 数据处理和传递的速度慢, 存储和查询不便, 费时费力, 工作效率低, 无法深加工 (数据挖掘)。

2. 与地理信息系统相结合有待发展

配电网直接联系着客户, 配电网的线路、设备都与所在的地理环境密切相关。配电地

理信息是 GIS 在配电网管理方面的应用,是在二维或三维地理图上对配电网的变电站、配电站站内设备及配电网设备上设备(如断路器、隔离开关、变压器等)进行综合管理及实时监控的系统,从而将网络拓扑和配电网信息相结合,使之更形象直观、更便于运行管理。目前, GIS 在配电网中的应用范围虽在拓宽,但在辅助调度决策、实时信息处理及高级应用分析等方面还需要加大研究和开发力度。

3. 缺乏计算机辅助决策的功能

由于数据缺乏完整性、一致性、及时性和共享性,从而影响了系统信息集成和综合管理,限制了系统综合管理和支持决策功能的正常发挥,因此多源信息的综合处理能力比较差,不能更好地达到计算机管理辅助决策的目的。

总之,要满足系统的要求,必须逐步解决存在的问题。配电管理系统必须是由计算机网络、大型数据库、地理信息系统、配电网管理应用软件组成的一个分布式的、开放式的、模块化可扩充的系统。

6.2 配电系统的特点及配电管理系统功能结构



6.2.1 配电系统的特点

1. 配电网的特征

配电网的特征主要表现在:

(1) 具有地理分布特性。配电网中馈电线路走向以及配电设施的地理位置和客户的实际分布具有明显的地理特征,生产管理中的实际操作如线路改造、停电检修和用电业扩展也都依赖于长度、距离、范围、街道分布和相对位置等地理因素。因此就必须同 GIS 相结合,利用 GIS 对空间及属性数据处理的优势,充分发挥管理系统的功能。由于配电网的地理分布特征及各系统的独立性,增加了基础数据的采集和及时更新的难度,因此必须结合网络技术、分布式数据库技术实现数据共享,尽量避免数据冗余,提高数据更新和实时查询的效率。

(2) 网络结构复杂。相对输变电而言,配电网结构更为复杂。我国早期的配电网多为辐射结构,随着现代城市的发展,负荷密度越来越大,变电站的电压等级在提高,变电站容量在扩大,变电站数量在增加,站间距离变小,故障时的短路电流大,要求保护和自动化装置更加迅速和可靠。另外,由于大负荷高度集中,相应地价昂贵,因此人们对供电可靠性的要求也越来越高。

(3) 网络接线经常变化,检修更新频繁。这就不仅需要开发的数据库功能强大,便于查询、更新和维护,而且需要 DMS 客户定期对数据库进行校验和更新,同时应确保数据入口的惟一性,保证数据来源准确可靠,从而保证 DMS 正确高效运行。

(4) 具有多种通信方式。这就需要结合网络技术,在 Intranet 环境下,采用 C/S 模式或 B/S 模式,由数据服务器统一管理并处理配电网的各种数据,客户端负责发送数据请求及显示结果,这样便于各应用程序共享数据及更新数据,从而保证了数据库的整体性、

一致性和安全性。

(5) 配电网的实时监控和离线管理, 安全可靠要求很高。实时运行时的“三遥”功能和常规的设备设施管理, 不仅要求配电网本身能提供支持, 而且对相应的监控和管理系统的安全可靠性提出了更高的要求。

2. 配电管理系统特点

基于配电网以上特点, DMS 的构成在功能和硬件特点方面大致为:

(1) DMS 数据库管理功能强大, 数据库容量大, 要求数据更新和维护方便。

(2) 随着分布式计算机网络系统的发展, DMS 各个模块及其功能与实时数据采集和信息更新能相互配合。

(3) DMS 的功能是分布在许多地域不同的数据及应用服务器和工作站上, 服务器和工作站通过 Internet 或局域网相互通信。

(4) DMS 是一个实时监控和离线管理相结合的系统, 因此 DMS 的安全性要求较高。

(5) 系统将电网设备数据和客户数据、实时数据和历史数据、电网图形和地理图形、空间图形与属性数据集成在一起, 具有很高的集成度。

(6) GIS 管理 DMS 中的空间数据、属性数据及建立空间数据间的拓扑关系, 其网络拓扑分析功能有助于进行空间决策分析。

(7) 模块化的系统设计, 使得系统可扩充, 且具有二次开发功能。

6.2.2 配电管理系统的功能结构

1. 配电管理系统的功能组成

配电管理系统主要由以下功能构成:

(1) 配电自动化系统 (Distribution Automation System—DAS)。配电自动化系统 (DAS) 的实施旨在提高城市电网配电可靠性和自动化管理水平。配电自动化系统作为 DMS 集成系统中的一环, 与其他相关系统的数据流向大致为: DAS 从 FTU、TTU/TQU、DTU/RTU、远方自动抄表系统、负荷管理系统等获取配电网信息, 形成实时数据库和历史数据库, TCM (故障管理) 弥补实时信息的不足, GIS 则为 DAS 提供地理信息背景、离线图形数据和设备参数等。反之, DAS 又为 TCM、GIS 等系统提供配电网实时运行参数、事故、停电等信息。

(2) GIS。GIS 采用地理模型分析方法具有对空间数据综合处理能力, 将其应用于配电管理系统中, 将空间及属性信息与配电管理基础信息相结合形成配电管理基础数据库。既能方便地查询和管理, 又为电网运行管理提供一个有效的、能操作的具有地理信息的网络模型。由于配电网直接面向客户, 尤其是城市配电网, 配电设备的布局、馈线的走向与地理位置、城市房屋、街道走向关系密切, 如果把配电网的设备和运行信息与地理信息、自动绘图 (GIS/AM) 相联系, 将使配电网信息的含义表达得更直观, 也对运行带来极大的方便。因此在配电网自动化管理系统中, 与 GIS 技术有机结合十分必要。从某种意义上说, GIS/AM 是计算机平台的一部分, 它可以在许多离线和在线的应用功能中使用。此外, 配电系统的设备管理、规划设计、负荷管理、故障排除、供电恢复、客户报装、电量计费、

馈线增容等都要用到地理信息。因此，在配电系统中引入地理信息系统是当前技术发展的方向，是配电自动化及配电管理系统的一个重要特征。

(3) 配电工作管理 (Distribution Worker Management—DWM)。配电工作管理以 GIS 数据库为数据平台，借助 GIS 技术，进行日常的配电管理，包括配电网档案和统计管理、配电网运行管理、配电网施工计划和工作管理等。同时，配电工作管理能与用电营业管理系统 (CMS) 中业扩流程衔接，实现以业扩为主线的营配合一管理。

(4) 故障管理。故障管理包括故障的隔离和修复。在馈线系统出现故障以后，通过故障电流的计算，为故障诊断提供判据，然后利用故障隔离与恢复功能提供故障隔离方案，将馈线系统中的故障部分与非故障部分隔离开来，并提供尽可能快的恢复供电的方案措施。

(5) 配电网分析软件。根据电网的需要，在 DMS 中集成一些配电网分析软件或功能模块，实现配电网建模和拓扑、负荷建模和校准、配电潮流、网络结构优化和重构、调度员仿真培训等，以提高调度员对配电的分析和监管手段。

(6) 配电 SCADA 系统。SCADA 系统主要作用于变电站、大客户、配电网及相关的地区电网，以进行实时监控和数据采集。配电网的 SCADA 系统既具有传统的变电站 RTU 收集配电网设备的实时数据进行数据处理及监视控制等功能，又包括沿线分布的面向现场的 FTU/DTU/TTU，用以实现馈电线自动化的远动功能。由于配电网的节点数量较大，难以全部实现自动化，因而许多监控点只能通过通信设备由调度员和现场人员的配合完成数据采集和控制操作。

(7) 电量计费功能。配电管理系统还具有以下电量计费功能：

1) 统计和分析不同时段、不同电价结构的用电量变化情况并对不同时段的电量进行不同价格计费。

2) 对远方厂站计量终端进行分时段电量采集、统计和计算等功能。

3) 为经济调度提供实时分析数据。

2. 系统结构

根据现行配电网管理信息系统存在的问题及其发展要求的分析，可给出系统的一种结构图，如图6-1所示。

(1) 配电网综合查询子系统。在配电网图上可综合查询配电资产信息、运行信息、统计报表信息以及客户的各种信息。

(2) 配电网工作管理子系统。完成日常配电任务的计划、生产调度、缺陷管理、工作票管理等。

(3) 配电网工程管理子系统。实现城网改造工程、大修工程和业扩工程的管理。

(4) 配电网高级管理子系统。实现配电网指标的管理，如线损管理、可靠性管理、电压管理等。

(5) 配电网运行维护管理子系统。实现线路巡视、清扫、检修及配电变压器和断路器的试验、检修等管理。

(6) 客户信息管理子系统。接口模块，实现与用电营销系统的信息共享。

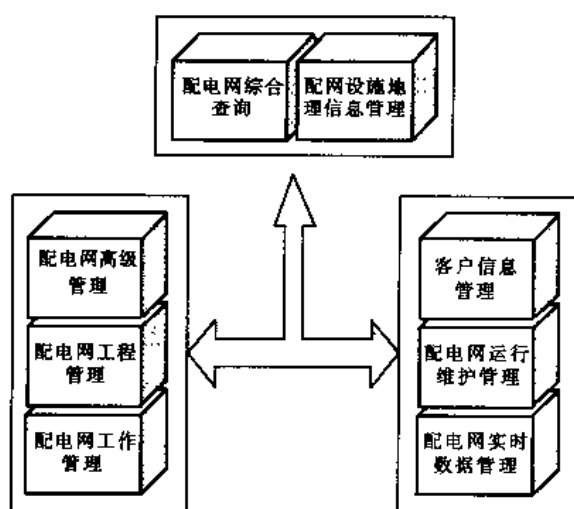


图 6-1 DMS 系统结构

(7) 实时数据管理子系统。实时接口模块，完成与负控系统、SCADA 的实时数据显示与配电网的模拟运行。

(8) 配电网设施管理子系统。完成配电网图层及各类设施的地理信息图层的图形和属性管理及维护。

6.2.3 配电管理系统的基本要求

DMS 是由一开放式的基础平台和在该平台之上的多个相对独立的应用子系统组成，其中基础平台能为各种应用的实施和执行提供安全可靠保障且能提供各种高级服务。DMS 是一个符合配电系统现代化管理要求的、分布式、开放式、模块化、可扩充的自动化系统，因此，DMS 的开发难度较高。在开发 DMS 过程中应遵循以下几点基本要求：

(1) 在平台的构建过程中，应注意用平台化、模块化和工具化的思想构建系统，并使系统具有强大的二次开发能力。模块化是指在系统构建时，应该尽量降低各个功能模块的耦合性，保持模块间的互相独立，从而降低系统修改的复杂度和难度，且有利于系统模块集成，并提高模块的重用性，这也是成功开发一个复杂庞大系统的先决条件。平台化是一个纵向的概念，模块化是一个横向的概念，用平台化与模块化相结合所生成的系统的优越性在于，能够将发生错误的可能区域缩小到最小，即使要对系统中的某一部分功能进行调整和优化，也不至于影响整个系统。工具化使得开发和应用的操作简单，使得开发者便于开发，又能方便客户应用，这是软件开发的一个趋势。二次开发能力保证了系统的开放性和可扩充性，有利于系统功能的维护和扩充。

(2) DMS 应具有适应电网逐渐发展、控制与管理相结合的特点，因此系统要做到每一个功能模块的维护和扩展对其余模块的影响都最小。这就要求硬件设备、操作系统、网络互联、人机通信、数据库管理等必须采用国际标准或工业标准。

(3) 随着网络技术的蓬勃发展，DMS 的各种数据应实现共享，因此，整个 DMS 应具有完全开放的体系结构且可运行在不同操作系统中。

(4) 配电管理系统应具有信息集成度高、功能强大的分布式数据库。为了使 DMS 异构数据源集成到同一数据库,可采用成熟的数据库接口技术(ODBC)完成数据交换。

DMS 是一个涉及供电企业运行管理、设备管理、客户服务等各个方面的计算机网络系统,它的正常运转不仅需要功能强大、高可靠性的软硬件作为系统平台,而且必须有大量的、准确的数据来支撑,并加以严格管理和高水平维护。同时,对工作人员的素质和企业的管理水平也将提出更高的要求。

6.3 配电自动化系统



6.3.1 配电自动化系统在配电管理中的地位和作用

“配电自动化”是 20 世纪 90 年代美国学者提出来的。到目前配电自动化及其相关的一系列技术,国际上尚无统一的定义和规范。根据近几年国际配电自动化会议的普遍提法和国内专家的研究成果,给出其定义如下:

配电自动化系统是一种能使供电企业在远方实时监视、协调和操作配电设备的自动化系统,其内容包括配电网数据采集和监控、配电地理信息系统和需方管理三个部分。

配电自动化系统是配电管理系统最主要的内容,是近几年来电力应用中的新型技术,主要涉及中低压电网。配电自动化将是电力系统现代化的必然趋势,其主要作用有:

- (1) 在正常运行情况下,监视配电网运行工况,优化配电网运行方式。
- (2) 当配电网发生故障或异常运行时,迅速查出故障区段及异常情况,快速隔离故障区段,及时恢复非故障区域客户的供电,缩短对客户的停电时间,减少停电面积。
- (3) 根据配电网电压合理控制无功负荷和电压水平,改善供电质量,使之经济运行。
- (4) 合理控制用电负荷,提高设备利用率。
- (5) 自动抄表计费,保证抄表计费的及时和准确,提高企业的经济效益和工作效率,并为客户提供自动化的用电信息服务等。

此外,配电自动化还能实现在人力尽量少介入的情况下完成大量的重复性工作。这些工作包括查抄客户电能表、监视和记录变压器运行工况、检核配电变电站的负荷、配电线路合成分断路器分合状态、投入或撤除补偿电容器、升或降有载调压装置分接头以调节电压等。

6.3.2 配电自动化系统的内涵

配电自动化系统的主要内容包括配电网数据采集和监控(SCADA)、配电地理信息系统(GIS)和需方管理(DMS)三部分,如图 6-2 所示。

配电自动化系统中,从为配电网供电的 110kV 主变电站的 10kV 部分监视,到 10kV 开闭所、配电变电站和配电变压器的自动化,称为配电 SCADA。

进线监视一般完成对配电网进线变电站的断路器位置、母线电压、线路电流、有功和无功功率以及电能量的监视。

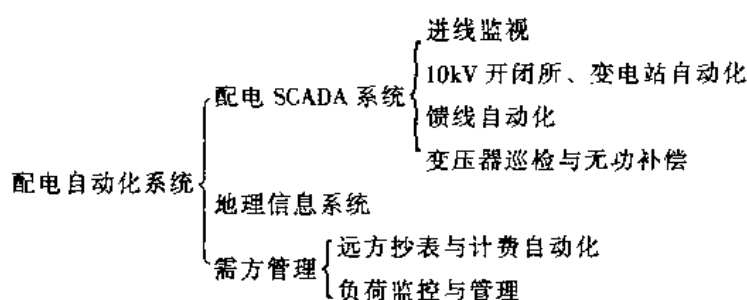


图 6-2 配电自动化系统的组成

馈线自动化（Feeder Automation，简称 FA）是指在正常情况下，远方实时监视馈线分段断路器与联络断路器的状态和馈线电流、电压情况，并实现线路断路器的远方合闸和分闸操作；在故障时获取故障记录，并自动判断和隔离馈线故障区段以及恢复对非故障区域供电。

开闭所和配电变电站自动化（Substation Automation，简称 SA）完成对配电网中 10kV 开闭所、小区变电站的断路器位置、保护动作信号、小电流接地选线情况、母线电压、线路电流、有功和无功功率以及电能量的远方监视，实现断路器远方控制、变压器远方有载调压等。

变压器巡检是指对配电网中箱式变压器、变压器台架的参数远方监视和补偿电容器的自动投切和远方投切等。

配电自动化系统的另一组成部分，即需方管理（Demand Side Management，简称 DSM）。DSM 实际上是电力的供需双方共同对用电市场进行管理，以提高供电可靠性，减少能源消耗及合理调配供需双方的费用支出。其内容包括负荷监控、管理和远方抄表、计费自动化两方面。

负荷监控和管理（Load Control & Management，简称 LCM）是根据客户的用电量、分时电价、天气预报以及建筑物内的供暖特性等进行综合分析，确定最优运行和负荷控制计划，对集中负荷及部分用电负荷进行监视、管理和控制，并通过合理的电价结构引导客户转移负荷，平坦负荷曲线。

远方抄表与计费自动化（Automatic Meter Reading，简称 AMR）是指通过各种通信手段获取远方客户电表数据，并将其传到控制中心，由相应的处理系统按一定的要求自动生成电费报表和曲线等。

地理信息系统的引入是配电自动化的主要特点之一，因为配电网节点多，设备分散，其运行管理工作常与地理位置有关，将 GIS 的图形数据与一些属性数据库结合，可以更加直观地进行运行管理。

配电自动化中的 GIS 主要包括以下内容：

（1）设备管理（Facilities Management，简称 FM）是指将变电站、馈线、变压器、开关、杆塔等设备和设施的技术数据反映在地理背景图上，并实施有效的管理。

（2）客户信息系统（Customer Information System，简称 CIS）是指借助地理信息系统，对大量的客户信息，如客户名称、地址、账号、电话、用电量和负荷/供电优先级、停电

记录等进行处理,便于迅速判断故障的影响范围。用电量和负荷的统计信息还可作为网络潮流分析的依据。

(3) SCADA 功能是指将 SCADA 和 DSM 上报的实时数据信息与 GIS 相结合,以便于操作和管理人员更方便地动态分析配电网的运行情况。

(4) 停电管理系统 (Outage Management System, 简称 OMS) 是指接到客户的停电投诉后,地理信息系统通过调用 CIS 和 SCADA 的部分功能,迅速查明故障地点和影响的范围,按一定的算法选择合理的操作顺序和路径,显示处理过程中的进展情况,并自动将有关信息转给客户投诉电话应答系统。

此外,配电自动化还应具有辅助配电网发展规划设计等功能。

6.3.3 配电自动化系统的功能组成

配电自动化有三个基本的功能要求,即对配电网进行安全监视、控制和保护。

安全监视是通过采集配电网上的状态量(如断路器位置和保护动作情况等)和模拟量(如电压、电流和功率等)以及电度量,实现对配电网的运行状况进行监视。

配电网的控制是指对远方控制断路器的合闸或跳闸以及有载调压设备升压或降压,以达到所期望的目的(如满足电压质量的要求、无功补偿和负荷平衡等)。

配电网的保护是指检测和判断故障区段,并隔离故障区域,恢复正常区域供电。

配电自动化系统的功能体现为一系列管理子过程。具体如下:

1. 信息管理

信息管理过程是对配电网的运行情况有一个及时准确的监视,以便控制配电网。信息管理子过程能帮助确定以下内容:

(1) 待进行的控制是否可行。

(2) 若将控制执行下去,能否达到预期的目的,会产生哪些结果,是否存在不能接受的后果等。

信息管理子过程的基本组成部分之一,是一个描述性的数据库。通过这个数据库使配电自动化系统与所采集的大量信息和控制的大量对象建立一一对应关系,因此在定义该数据库时必须确保其完整和准确,并且必须便于自动化系统或操作员的刷新和修改。随着配电自动化的扩大,该数据库必须很容易扩大,其中的记录必须能很容易查询和核对。

在配电自动化系统中,及时准确地采集和处理信息至关重要。在无功补偿和负荷管理等应用中,准确性比实时性要重要很多,而系统保护则对准确性和实时性的要求更高,往往要求在毫秒级就能做出反应。对于要求较高的响应速度的情形(如保护),应采用就地控制的策略。

电能计费功能要求从客户表上采集需求与用电情况信息,为此应采取有效的自动读表和校验措施,避免不明确的数据影响系统。

2. 可靠性管理

其作用是尽量减少故障对配电自动化系统的影响。在发生永久故障时,通过判断和隔离故障区段,并恢复无故障区域供电和配电网拓扑结构重组来达到减少停电面积和缩短停

电时间的目的。系统可靠性管理功能除了能显著提高服务质量外,还可使配电网得以充分利用,并且提高排除故障的效率和降低劳动强度。

3. 经济性管理

其作用是提高配电网的利用率和减少网损。降低网损的方法通常是选择合适的配电网结构形式,使在各条馈线上对网内负荷的供电尽量均匀,以及提供超前的无功功率以补偿网上滞后的无功功率,并且充分利用网上变压器的负荷能力。

降低损耗使运行成本降低,而且充分利用已有的设备可以减少或推迟扩容所需的资金投入,因此经济性管理可获得显著的经济效益。

4. 电压管理

关键位置的电压受到负荷的大小、配电系统的功率因数、配电网的拓扑结构以及线路阻抗等因素的影响。监测和管理网上关键位置处的电压,将其控制在所期望的范围内的益处在于:对客户而言,有利于他们获得良好的供电质量;对于电力企业,有助于迅速地控制配电网上所有关键位置处的电压。

对电压的控制一般通过线路电压调节器进行调节,或通过无功调节实现控制来达到目的。

5. 负荷管理

负荷管理子过程是通过对客户的负荷进行远方控制来抑制高峰负荷、错开负荷周期,通过实现分时计费等手段引导客户调节用电时间,达到削峰填谷的目的。在系统突然失去大电源的紧急情况下,通过抑制负荷以减轻系统的扰动。在恢复送电时减轻冷负荷启动造成的电流冲击问题。

6.3.4 配电网自动化系统的信息组成

配电网自动化系统的信息由以下部分组成:

1. 模拟量信息

遥测信息以采集电流信息为主,同时也考虑小电流接地信号的采集。这些遥测信号均要求注有方向标志。

配电网故障一般是通过电流信号判断的,并产生配电网故障信号,由此启动故障点隔离程序进行控制。故障电流信号应作为事件顺序记录的信息。

供给自动化设备的电源的输入电压值和充电电池的电压值也应是判断自动化设备故障的信息之一。

由于配电网的特殊性,要求模拟量报警信号的产生条件设置两种类型:一种是设置高、低两个报警门槛值;另一种还增设高、低两个预报警门槛值。这是为了适应和区别不同监视对象和控制对象。

模拟信号可以提供对状态信号的校核,并提供与其对应的截止值信号。

模拟量输入标志设有稳态信号和暂态信号两种类型,暂态信号是针对采集到的无效值设置的。

2. 状态量信息

(1) 设备运行状态信息。设备运行状态信息基本上与输变电自动化采集的信息内容一致, 主要包括有: 断路器的位置信号、断路器失灵信号、各种越限动作跳闸信号、重合闸动作信号、交直流电源异常信号、小电流接地故障信号、负荷开关和分段断路器位置信号。

(2) 与设备运行状态相关的内部控制状态信息。与设备运行状态相关的内部控制状态信息主要是那些通过软件参数界面设定的各种运行条件下对相应设备功能投运/退出的设置信息。通常可以归纳为控制功能的设置、正常运行操作的设置、故障操作的设置三个方面。

控制功能设置主要包括顺序控制的协调和断路器触头的监视。顺序控制协调是指按照预先安排的配电网运行方式进行的成组编程控制, 并对编程控制的投入/退出条件进行设置。所设置的条件可以是模拟量的阈值, 也可以是事故状态报警信号。

断路器触头监视是针对配电网设备长期处在户外和无入条件下运行的特点, 按照预先输入的断路器触头寿命曲线(由断路器生产厂家提供)监视每次操作之后的寿命状态信息, 通过该信息可以对设备维护和检修作出合理的工作安排。控制功能信息完全是针对配电网的特点而设置的新的信息内容。

正常运行操作的设置主要是实现各类运行状态的统计, 如事件记录及跳闸次数统计、电源失电信息、重合闸故障信息等。

故障操作的设置主要是为了配合各种运行条件下的保护功能选择及其整定值设置, 如过电流跳闸、接地跳闸、接地跳闸优先等。

(3) 特殊遥信信息。配电网中需采集一些特殊的遥信信息, 同时也需要通过一个界面对这些信息的采集进行内部设置控制。特殊遥信信息包括标志记录、控制器运行编码、断路器失灵保护状态、远方/当地控制切换位置。

在重合器或环网柜上都配置有 FTU (或控制器), 其功能包括电气控制和继电保护。所以, FTU (或控制器) 的运行编码信息主要是指各类功能的闭锁信号, 如高电流闭锁、远方跳闸及闭锁、监视跳闸及闭锁。

断路器失灵状态信息主要是指导致闭锁断路器操作的相关信号, 一般包括远方合闸失败、操作蓄电池电压过低、在编程时间范围内设备失电。

所有这些特殊的遥信信息均可以通过顺序控制设置为运行状态。

远方/当地控制切换有两种办法实现: 一种是通常采用的硬切换开关, 该开关安装在控制器内, 供现场操作和现场维护设备使用; 另一种是切换至当地执行的方法, 是启动控制器成组程序控制, 在启动该控制方式之后, 自动闭锁远方操作控制的执行。这两种方法切换的信息均应该作为状态信息。

(4) 报警信息。不论是状态量产生的报警信号, 还是模拟量产生的报警信号, 均可以根据被监视对象的重要程度和事件处理配合的需要设置两种报警信号。

1) 即时报警: 检测到设置的报警条件, 立刻产生报警信号。

2) 延时报警: 在超出了规定的延时之后, 所检测到的报警状态仍未消失, 即产生报

警信号。

3. 脉冲累计信息

脉冲信息包括脉冲输入信号和统计信号两类。由于配电网设备处在无人环境下运行，对设备运行工况需要进行必要的监视，因此一次设备的操作统计信号是为配电网管理自动化系统提供的设备维护信息。另外也需要提供配电网运行工况的统计信息，通常有：

- (1) 三相线路每一相的标志统计。
- (2) 接地标志统计。
- (3) 小电流接地统计信号。

4. 故障诊断和判断信息

(1) 故障诊断信息。故障诊断信息来自于自动化设备自身的运行状况诊断功能。主要以设备电源信息为主，如电源电池的充电过流和过压、正常运行条件下的电池状态测试、电源电池的过渡放电、失去外部电源时电源自供电能量的测试信息、持续占有通道信息等。

应该特别要求提供电源蓄电池工作曲线、寿命曲线、自动化设备各种运行状态下的用电量数据，并存储在设备中，以供诊断使用。

(2) 故障判断信息。主要针对采集的遥测和遥控信息进行故障检测和判断。根据预先设置的各种条件下的配电网运行参数，判断故障的发生程度，并且发出相应的报警信息和指示。

由于配电网中的信息采集量非常大，并且控制的执行经常要求多个配电网节点上的自动化设备在无人条件下彼此协调运行，所以，配电网自动化设备应具有判断和处理一般性故障的智能能力。这种能力可预先通过编程或经人机界面设置。

按照配电网特点，典型的故障判断所需的信息内容有：时限过流故障检测、相—相之间的故障电流阈值、零序电流故障门槛值、零序电流谐波、故障持续时间、接地故障检测、传输通道故障检测等。

如果故障持续时间较长或涉及多次重合闸情况，一般可以考虑只记录第一次检测到的瞬间故障即可。这主要受到设备对事件记录容量和设备成本的限制。

5. 状态量输出信息

设备控制操作信号是直接执行设备跳闸和合闸操作的控制信号。这些控制信号可以是当地操作命令，也可以是远方控制主站下达的控制命令。

可以对某些特定运行条件预先设置控制信号。针对故障处理的控制信号有：接地跳闸、过电流跳闸、越限跳闸和接地闭锁。针对改变设备运行方式的控制信号有重合闸成功标志清除。控制状态的管理信号有：重合闸的投入/退出、事件记录的投入/退出、接地跳闸闭锁的启动、重合闸成功标志清除的启动、断路器触头负荷测试的投入/退出、重新设置的状态信号、小电流接地的投入/退出及接地跳闸优先的投入/退出。

重新设置的状态信号包括三项内容：重新设置断路器失灵状态信号；重新设置控制回路运行状态信号；重新设置带有标志的状态信号。

带有时间信息标志管理的控制信号通常考虑以下内容：过流跳闸、复位、人工操作的合闸、远方控制的合闸、人工控制的闭锁、远方控制的闭锁、远方控制的跳闸、交流输入电源失电、交流输入电源恢复、程序控制、小电流跳闸及合闸试验闭锁等。

6.3.5 配电自动化系统的通信方式与通信规约

通信系统的建设是配电自动化系统的关键之一。配电自动化系统需要借助于通信手段，以便在主站与大量远方终端之间传递信息和控制信号，亦即将控制中心的控制命令准确地传送到众多的远方终端，并且将反映远方设备运行情况的信息收集到控制中心。虽然有多种通信技术和装备可以使用，但配电网结构复杂，城市和农村各有特点，新建的和原有的配电网在设备和网络结构上也不尽相同，并且配电自动化的通信点较多，分布极为分散。这就决定了很难有某个单一的通信方式可很好地满足所有配电自动化建设的需要。

随着通信技术的发展，目前可选用的通信手段很多，主要有配电载波、无线、电话线、光纤、微波、卫星、电缆等，在某些场合也可采用 RS-422/485 的低速总线，也有用局域网/现场总线，其媒介可用光纤、同轴电缆或双绞线。有些重要的变电站已采用卫星通信技术。实际上，在配电自动化系统实施中，往往要根据具体情况（如不同地区、不同投资条件、不同场合、不同设备等），选用多种通信方式混合的手段来解决实际问题。同时要考虑以下几个因素：

(1) FTU 大多安装在户外或在开关柜中，它受到高温、低温、雨、雪、风等的影响和强电、磁场的干扰，所以要求通信设备应能适应恶劣的工作环境。

(2) 不同的通信方式，其建设、安装、运行费用差别较大。由于配电网中通信点多，费用往往是一个重要的制约因素。

(3) 因为配电自动化需要对停电区内的配电设备采集数据和输送控制信号，因此它要有在停电区通信的能力。

(4) 配电网因扩建等原因经常变化，与其配套的通信网也处于同样的状况，这就要求配电自动化的通信易于扩充和维护。

从目前的技术水平看，没有任何一种单一的通信手段能够全面满足各种规模的配电自动化的需要，因此多种通信方式在配电网中的混合使用就难以避免。表 6-1 列出了配电网可能用到的各种通信方式。

配电自动化系统主要有以下几种通信方式：

(1) 配电线载波通信。自 20 世纪 20 年代电力线载波通信 (Power Line Carrier, 简称 PLC) 推出以来，PLC 已成熟而有效地应用于电力系统。这种通信方式可以沿着电力线传输到电力系统的各个环节，而不必考虑架设专用线路，并且 PLC 不必经过无线电管理委员会 (FCC) 的许可。

配电线载波通信 (Distribution Line Carrier, 简称为 DLC) 是 PLC 的一种，载波频率一般为 5 ~ 40kHz。其设备有在主变电站安装的多路载波机 (主站设备)，在线路各侧控制对象处安放的配电线载波机 (从站设备) 和 高频通道。

配电线载波的特点是数据传输速率较低，容易受到非线性失真和信道间交叉调制的影

响,并且配电线载波通信系统采用的电容器和电感器的体积较大、价格也较高。此外,安放于户外断路器处的配电线载波设备的接地开关不便于处理。所以在配电自动化中,单独依靠这种通信方式难以全面满足各种要求。

表 6-1 配电自动化可能用到的各种通信方式

通信方式	传输媒介	传输速率	传输距离	主要用途
配电线载波	高压配电线	50 ~ 300bit/s	< 10km	FTU、TTU 与区域工作站间通信
低压配电线载波	低压配电线	50 ~ 300bit/s	台区内	低压客户抄表
工频控制	配 电 线	10 ~ 300bit/s	较 短	负荷控制
脉动控制	配 电 线	50 ~ 60bit/s	较 短	负荷控制和远方抄表
电话专线	公用电话网	300 ~ 4800bit/s	较 长	FTU 与区域工作站及区域工作站或 RTU 与控制中心通信
拨号电话	公用电话网	300 ~ 4800bit/s 拨号时间长	较 长	远方抄表与维护
CATV 通道	有线电视网	300 ~ 9600bit/s	有线电视网内	负荷控制
现场总线	屏蔽双绞线	几十波特率	< 2km	FTU、TTU 与区域工作站间通信、分散电能采集、设备内部通信等
RS-485	屏蔽双绞线	9600bit/s	< 2km	同上
多模光缆	多模光缆	< 2Mbit/s	< 5km	同上
单模光缆	单模光缆	< 2Mbit/s	< 50km	通信主干线
无线扩频	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
VHF 电台	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
UHF 电台	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
多址微波	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
调幅广播	自由空间	< 1200bit/s	< 50km	负荷控制
调频广播	自由空间	< 1200bit/s	< 50km	负荷控制
卫 星	自由空间	< 1200bit/s	全球	时钟同步

(2) 脉动控制技术。脉动控制技术 (Ripple Control) 的工作原理类似于配电线载波通信,它也是将高频信号注入到电力传输线上,只是它对信息的调制方式是通过让脉动有或无来实现的。使用的载波频率低于 2kHz,由于这个频率较配电线载波使用的频率更接近 50Hz 工频,因此它在配电网上的传输效率更高。

脉动控制技术的缺点是数据传输速度低,对噪声更敏感。但它适用于单向通信的场合,比如负荷控制。它也适用于已建立的电力线,并且不受无线电管理委员会制约。

(3) 工频控制技术。工频控制技术是一种双向通信方式,它也是利用电力传输线作为信号传输途径,并利用电压过零的时机进行信号调制。

与脉动控制技术相比,工频控制技术设备更简单,投资更节省;它也不像配电线载波系统,它不存在由于驻波而带来的盲点问题。工频控制技术突出的缺点是当停电时通信将中断。

(4) 电话线。从技术角度看,利用电话线通信很适合于配电自动化系统,它可以达到较高的波特率,且容易实现双向通信。但电话线的租用费用较高,而且电力公司无法完全掌握电话线通信的维护以确保其可靠运行。另外,还有许多电话线未能覆盖到的区域,为这些区域额外架设专线的费用也是较高的。

(5) 光纤通信。光纤通信以光为信息载体,以光纤为传输介质,是一种先进的通信手段。它有传输频带宽、传输衰耗小、敷设方便、不受电磁与串音干扰、抗腐蚀等优点,但也存在强度不如金属线、连接困难、分路和耦合不方便、弯曲半径不能太小的缺点。

另外还有有线电视(CATV)通道、现场总线和 RS-485、微波通信、卫星通信等各种方式,在此不一一赘述。

在建设配电自动化通信系统时,另一个必须认真考虑的问题是选择通信系统的规约。主站与各终端之间究竟采用何种通信规约,如 DNP3.0、MODBUS、JBUS 等等。但规约选择的好坏,不仅影响通信系统的可靠性和效率,而且还会影响系统功能的正常发挥。目前普遍运用于电网调度自动化和变电站综合自动化的通信规约大致可分为应答式规约(如 SC1801、 μ 4F 和 MODBUS 等)、循环式规约(如部颁 CDT、DXFS 和 COL 等)和对等方式规约(如 DNP3.0)三类。

应答式规约又称 Polling 规约。它以主站为主,依次向各 RTU 发出查询命令,各 RTU 依查询命令进行回答,回答信息串的长度是可变的。

循环式规约又称 CDT 规约,它是一种 RTU 自发地不断循环上报现场数据的规约,上报信息串的长度是可变的。

DNP 规约是 Distributed Network Protocol(分布式网络规约)的缩写。它由物理层、数据链路层、传输层和应用层组成。

在配电自动化系统中,设备数量庞大,种类繁多,地域分布面广,运行环境比较恶劣。如何组建合理的通信系统是影响到整个配电自动化系统成败的关键。上述三类规约各有优缺点,并且不完全适应配电自动化系统的需要。其中,CDT 和 Polling 规约主要用于输变电,它的主要问题是缺乏事件驱动上报功能。因此在具体实施过程中,需要对传统的通信规约进行扩展,但这样做又会产生影响配电自动化设备的标准化和互连性的问题。在我国已经实施配电自动化的一些工程中,采用了 DNP3.0 规约或 MODBUS 规约。但是,根据国家对于标准的使用原则,我国应采用或等效采用 IEC 的规约,即 IEC60870-5 系列规约,目前我国已制订了一些结合配电自动化的通信规约。

6.3.6 配电自动化系统在国内外的的发展

配电自动化系统已经形成了集变电站自动化、馈线分段断路器测控、电容器组调节控制、客户负荷控制和远方抄表等系统于一体的配电管理系统(DMS),其功能已多达 140 余种。

国外著名电力设备的制造厂商基本上都涉足配电自动化领域,如德国西门子公司、法国施耐德公司、美国 COOPER 公司、MOTOROLA 公司、英国 ABB 公司、日本东芝公司等,均推出了各具特色的配电网自动化产品。

日本是配电自动化发展比较快的国家。到 1986 年,全国 9 个电力公司的 41610 条配电线路已有 35983 条(86.5%)实现了故障后的按时限自动顺序送电,其中 2788 条(6.7%)实现了配电线路断路器(指柱上断路器)的远方监控(包括一般的和计算机监控)

新加坡公用电力局(PUB)在 20 世纪 80 年代中期投运并在 90 年代加以发展和完善的

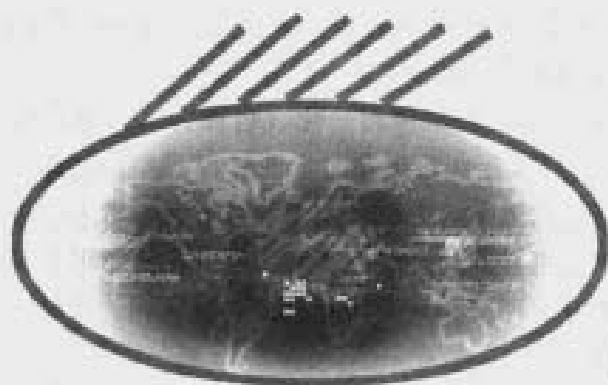
大型配电网 SCADA 系统,其规模最初覆盖其 22kV 配电网的 1330 个配电站,目前已将网络管理功能扩展到 6.6kV 配电网,进而覆盖约 4000 个配电站。

从国外配电自动化系统的发展来看,经历了从各种单项自动化(也称为“多岛自动化”)的配电自动化向开放式、一体化和网络化的综合自动化方向发展过程,并且已经具有相当的规模,并且在提高配电网运行的可靠性和效率,提高供电质量等方面均带来了可观的经济效益和社会效益。目前国外正致力于配电自动化专家系统和配电网仿真培训系统等研究,并且正在研究通过负荷分配的优化来减少网损,对变压器负荷进行管理,以最大限度地利用变压器容量并降低系统有功损耗等。

国内配电自动化起步于 20 世纪 90 年代中期,90 年代后期陆续在一些省会城市开展局部范围试点建设。1998 年末国家启动城农网改造工程,为配电自动化研究建设提供了机遇。同时,国内配电自动化的产品研发、功能标准讨论、工程项目建设也进入热潮,为国内配电自动化系统的全面建设提供工程经验。国内最早的集成化、综合一体化功能的配电自动化工程试点,是 1998 年的宝鸡市区配电自动化系统。其功能包括了馈线自动化、配电变压器巡检、开闭所自动化、配电网 SCADA、配网仿真优化、配电地理信息系统、客户故障报修等,并实现了各个子系统之间的信息实时共享、功能相互共享的一体化、综合化的配电自动化系统。

目前,国内在配电自动化系统的研究上已与国外无差距,但在设备制造的可靠性方面仍存在一定差距。

从配电自动化系统技术的发展上讲,目前关于智能配电专家系统和配电网仿真培训系统等领域的研究比较活跃,研究者和制造商热衷于研究通过负荷分配的优化减少网损,对配电变压器负荷进行管理以最大限度地利用设备容量并降低系统有功损耗,以及按即时电价对负荷进行管理。



7

配电地理信息系统

配电网是电力系统和用电设备连接的桥梁，其结构复杂，设备数量巨大，分布广阔，因此配电系统的运行、维护管理受许多地理环境的影响。正如第6章所述，依靠传统的信息处理技术不能友好和直接地表现配电系统运行维护管理。采用地理信息系统技术则能很好地满足配电系统运行维护管理和客户服务的需要。

本章主要围绕配电地理信息系统（简称为配电GIS）的功能和实现技术进行讨论。

7.1 配电地理信息系统概述

国家投巨资进行城农网建设与改造，其主要目标是解决长期困扰我国电力工业发展的各种制约因素。配合国内大型输变电工程建设，预计今后将逐步解决电力生产和商业化运营过程中的供求问题。国家对城网建设改造所提出的具体目标是：提高供电能力10%；供电可靠性99.90%~99.99%；电压合格率98%；网损降低10%；符合环保要求。与“九五”电网管理工作的目标相比，具有三个明显的特点：一是突出提出了商业化运营，增加10%供电能力的具体指标；二是提高了供电可靠性、电能质量和经济运行的指标（“九五”的目标为：供电可靠性99.7%~99.9%、电压合格率95%、网损降低1.2%~2.0%）；三是增加了环保要求。为了实现上述这些目标，必须同时启动城网一次系统和二次自动化系统的建设和改造。但由于各城网具体情况不同，所需解决的问题和先后顺序不一样。因此，当前的城网建设改造，基本上采取了“统一规划、分步实施”的方针。

一次系统建设主要涉及：负荷预测（要求年误差为5%）、电压等级（要求高/中/低电压等级 ≤ 4 ）、接地方式（中压）、网络接线（含馈线负载率/短路容量）、变电站（含变压器容载比）、无功补偿（含电压/无功优化）、潮流及可靠性分析及网损分析。

二次自动化建设主要涉及：配电管理系统、负荷管理系统、电量计费系统、地理信息系统、管理信息系统（输/变/配/用电管理）、变电站/开关站自动化（含无人值班）、馈线自动化（含环网控制）、通信网络（纵向/横向系统集成）。

从目前各城市的实施情况看, 配电 GIS 的建设已被纳入重要的地位予以考虑, 利用其特有的空间管理和分析功能, 使网络拓扑和配电网信息更直观和便于运行管理, 可以直接支持二次系统建设, 为最终实现城网建设改造的目标提供重要保证。

电网分布在城市的各个区域, 配电网深入到每一个客户, 并且多数呈辐射形分布。一般来说, 城市供电部门所管辖的各个变电站(所)的 10kV (或 6kV) 配电网大多具有数十条乃至几百条馈电线, 每一条馈电线由电缆或架空线路构成, 线路往往是由数十个至上百个节点(杆塔、变压器、开关等)和线段组成的网络结构。由于城网改造涉及的客户众多, 线路改造频繁, 致使馈电线路接线图也频繁改变, 这些接线图和设备运行档案对供电部门的调度运行、设计和检修而言是非常重要的技术资料, 对其保存往往采用手工绘制后再晒蓝图的方法来进行。较先进的方法是应用 CAD 软件或其他绘图软件进行绘制, 以电子档案方式进行存储和使用。这些绘图软件虽然具有很强的作图功能和图形输出能力, 但由于数据库的管理功能相对较弱或缺乏, 结果导致配电网的图形和属性数据相互分离, 达不到有效管理的目的, 更不能进行分析以致辅助决策。另外, 馈电线路的走向和定位、客户的增删和转移、设备数据的管理和更新等都与城市建设密切相关, 故障定位、负荷预测、负荷转移、线损计算等实时性要求较强的功能也难以根据已有图形实现。

我们知道, 传统的电力生产信息的传递模式是图纸、报表、调度指令。这种信息传递方式不仅费时、费力, 还可能滞后电力生产进程。电力部门生产采用集中统一管理, 任何一个环节出现差错, 都将导致事故, 引起重大经济损失。另外, 面对纵横交错的电网分布、日益复杂的电力设施、时刻变化的电网信息、不断变迁的城市道路与建筑, 尤其是电网中许多与空间位置有关的数据, 如何在需要的时候迅速准确地提供完整信息, 也就是如何将各种图形、地图、属性信息等统一管理并达到信息共享。以上所有这些问题的解决都有赖于 GIS 技术。它不仅能使调度部门实时、直观地了解信息的变化, 有效管理配电网设备设施, 改进信息传递方式, 而且依据开放性和可扩充性原则而设计实现的配电 GIS 还能够随着业务的拓展和客户需求的变化适时进行扩充, 从而不断满足客户需要, 科学合理地管理配电网, 为配电网的建设和发展提供强有力的技术支持和辅助决策依据。

配电 GIS 的建设是一个复杂的工程, 涉及大量的数据、文档、图形、各种标准、相关部门等, 因此建设配电 GIS, 需要重点考虑以下几点:

(1) 合理组织配电网各种图形和属性数据。根据馈线和设备属性类别的不同对各种图形进行分层组织, 每一层的属性类别必须惟一。例如, 变电站层、主线路层、杆塔层、开关层等。

(2) 合理组织各种背景图。在进行线路布置和定位、杆塔定位时, 需要确定目标的地理位置及距离, 利用城市权威部门提供的城市道路图、建筑物分布图等可有效辅助馈线 and 设备的布置与定位(这些功能可在配电 GIS 的可视化环境中实现)。为此要确定配电 GIS 所需要的背景图种类、比例尺、数量及相关的属性。一般而言, 小比例尺(如 1:10000)背景图适合于配电网的规划, 而大比例尺(如 1:500、1:2000)背景图适合于配电网的设计、施工和实时运行维护。

(3) 合理设计配电 GIS 的系统结构。至少包含配电 GIS 的功能设计和数据库设计两方

面内容。由于各城市的规模和发展水平不同,网络结构、数据通信机制、配电 SCADA 的构成等也可能不同,导致配电 GIS 的功能组成和数据库内容也会有差异。因此在设计配电 GIS 时,应充分考虑到这些差异,并将最能反映管理和运行要求的实用功能和支撑数据纳入系统建设中。

(4) 合理安排施工进度和人员培训计划。建设配电 GIS 的宗旨是为配电网的正常运行和科学管理提供技术支持,系统的建设不能无限期地进行。同时应将培训专门的技术人才作为重要目标,以便进行系统的维护和管理,提高各级人员的信息化意识和水平,对于改善企业形象、提高社会效益具有重大现实意义。

配电 GIS 在我国的发展十分迅猛,尤其最近几年,各地建设如火如荼,先后建起了许多实用的配电 GIS。例如,佛山电力工业局配电地理信息系统、宝鸡供电局市区配电自动化地理信息系统、西安供电局配电网地理信息系统、上海沪西供电所信息管理系统、北京城区配电网地理信息系统等。

7.2 配电 GIS 特点与功能



7.2.1 配电 GIS 的特点

配电 GIS 是一个高度复杂的软硬件和人的系统,其任务是在基于城市的地理图(道路图、建筑物分布图、河流图、铁路图、影像图及各种相关的背景图)上按一定比例尺绘制馈电线路的接线图、配电设备设施(杆塔、断路器、变压器、变电站、交叉跨越等)的分布图,编辑相应的属性数据并与图形关联,能对设备设施进行常规的查询、统计和维护,还可对馈线的理论网损、潮流和短路电流进行计算。同时,它还要能够与其他系统互联(如配电 SCADA、管理信息系统、客户报装系统、故障报修系统、抄表与计费系统、负荷控制与管理系统、Internet/Intranet 等),以便获取或传送信息,实现广泛的信息共享。

配电 GIS 的最大特点在于它能在离线和在线两种方式下运行。离线方式下的主要特点是:

- (1) 自动制图和设施管理(AM/FM)以及图形任意缩放、漫游。
- (2) 海量背景图的管理。地理背景图主要用于馈电线路的布置、配电设备的编辑,也可以用来进行指标的查询、统计。
- (3) 设备管理、营业管理、停电管理、客户信息管理和规划设计。
- (4) 设备设施统计与查询、指标计算。
- (5) 支持多种商用数据库。为了充分利用已有资源和对这些资源的科学管理,配电 GIS 一般支持多种商用数据库管理系统,例如 ORACLE、SYBASE、INFORMIX、DB2、SQL SERVER 等。配电 GIS 与这些数据库管理系统的联系可以通过接口实现,或经由 ODBC 关联。
- (6) 多图层的分层或叠加显示。
- (7) 模拟操作、故障模拟、自动装置模拟。通过手动方式来修改某些设备的状态,显

示某种故障可能导致的停电范围、某种操作可能恢复供电的区域等。模拟操作结束后自动恢复在线运行。

(8) 支持客户停电申诉。与公众电话网进行连接, 自动接受客户停电申诉, 及时处理客户的故障报修请求, 显示故障区的客户信息, 可为检修提供最佳路线。

(9) 支持客户业扩报装申请。根据客户的业扩报装要求, 在相关数据的支持下自动列出多种可供选择的供电方案, 并提出最佳建议方案。

(10) 支持与其他系统的接口。开放式的配电 GIS 具有与管理信息系统、办公自动化系统、远方自动抄表系统、Internet 等的接口。

在线方式下的主要特点是: 在线方式下, 配电 GIS 主要提供配电网运行时的各种状态显示、参数传递与计算、分析预测和各种即时服务。例如:

(1) 设备运行状态显示。作为配电自动化系统的一部分, 配电 GIS 可准确显示配电网中各开关、TV、TA 中的信息和数据 (包括实时信息和历史数据)。

(2) 实时显示配电网中供电区域、停电区域及其变化情况。当发生停电事故时, 及时在地形图上显示停电地区负荷转移的建议方案。

(3) 实时监测电网运行状况。当发生停电事故时, 及时给予报警提示。

(4) 电网设施建模、电网运行逻辑建模。

(5) 操作模拟、故障模拟、自动装置模拟。

(6) 支持与配电 SCADA 系统、负控系统等的接口。

多数情况下, 配电 GIS 以在线方式运行为主, 这也是它区别于一般的 GIS (即静态 GIS) 和 MIS 的根本所在。

7.2.2 配电 GIS 的功能

从配电 GIS 的特点基本可以看出它在配电自动化系统中的功能轮廓。由于配电 GIS 所管理和反映的信息分属于不同的部门、不同的子系统, 因此, 其功能也应与这些部门或子系统有所关联。按配电自动化系统的结构框架, 可以把配电 GIS 的功能进行分类, 形成以站内自动化、馈线自动化、负荷控制与管理、客户抄表与自动计费等子系统的地理信息管理为主要目标, 并将相关的管理信息系统和实时信息管理融合进来, 实现图形、属性及其他信息的多重管理功能的应用型 GIS。

1. 站内自动化 GIS

(1) 配电网中配电设备的信息查询。直接在配电网系统图上维护、搜索和查询配电设备 (小区变、箱式变、变电所、柱上断路器、杆塔、配电变压器等), 并能统计任意范围内的配电设备信息。这种查询是在设备的地理分布图 (分层图和合成图) 的基础上经由鼠标圈点或简单的条件输入实现的, 因而直观、形象、方便。

(2) 变电站/配电站/开关柜运行方式分析。各种变、配电站内部是一复杂的拓扑网络结构。利用 GIS 的拓扑分析功能和 SCADA 的实时信息对配电站内各种设备的运行状态进行分析, 并将出线状态的改变实时反映到配电网线路上 (基于地理图形的配电网线路)。运行状态分析还包括对变、配电站内和柱上断路器变位后的状态分析 (即追踪分析)。

(3) 配电站供电范围分析与显示。以图形方式显示被选配电站的供电区域,并对该区域内的各项指标进行统计分析。例如,客户数量及其分布、用电量统计等。

(4) 故障区域分析与显示。

1) 发生故障时,快速推算出受影响的区域,并将该区域的地理图显示出来;

2) 变电站故障引起的停电区域显示;

3) 变电站故障引起的馈线停电分析;

4) 故障点的电气特性分析;

5) 最优化停电隔离点决策。当接收到故障停电报警信号,或者某个设备需要检修时,自动分析、决策出最小停电范围的最优化停电隔离点,为开具抢修操作票提供依据,并保证最优的供电可靠性指标。

(5) 变配电站优化选址决策。根据电网分布现状、城市发展规划、人口密度、需电量等要素,确定变配电站的最佳选址方案。

(6) 设备缺陷管理。对各种设备缺陷信息进行分类管理;合理安排缺陷处理方法及处理时间;按照要求进行各种缺陷的统计,并做出缺陷报表。

(7) 设备评级管理。

(8) 设备变动管理。

(9) 设备异常运行管理。

(10) 电能分析(从 SCADA 获取实时母线电压、有功、无功电量、功率因数、无功补偿数据)。

2. 馈线自动化 GIS

(1) 供电线路系统图的信息查询。包括架空线、地理电缆、电缆沟、电杆走径等线路参数的查询。

(2) 配电线路供电范围分析与显示。以图形方式显示被选线路的供电区域,并对该区域内的各项指标进行统计分析。

(3) 区域分析与显示。快速推算供电线路故障时受影响区域,并将该区域的地理图显示出来;过负荷线路地理图的显示。

(4) 线路运行辅助管理。根据线路的地理走向分布及其周围地理情况,确定最合理的线路巡检路线。特别当供电线路发生故障时,能及时进行分析、定位和辅助抢修指挥。上游隔离开关查询和隔离开关控制范围查询等功能可使管理者能快速准确地了解线路的电源控制点,便于巡检中发现事故隐患时,较快地切断电源。杆塔材料表与安装图的查询和设备档案查询等可为线路检修计划的实施提供完整的信息支持,简化检修准备工作。

(5) 沿线追踪显示。以图形方式实现设备的快速定位,查看或统计配电网沿线设备的实际地理位置(基础地形信息)和属性数据、图片档案等信息。例如,沿线配变数量与容量分布、客户数量与容量分布、各台区用电量统计等。

(6) 资源分配。对主干线进行优化选线分析,目标是使整个电网投资最小。

(7) 缺陷管理。对所有发现的线路缺陷、线路薄弱点等信息进行分类管理;合理安排各种缺陷的处理方法及处理时间;按照要求进行各种缺陷的统计,并做出季度缺陷报表。

(8) 实时信息处理。根据 SCADA 提供的实时信息, 在地理图上快速反映主接线的实时运行状况, 计算各馈线出线当月和累计有功电量与无功电量, 并绘制馈线出口处负荷曲线。

(9) 线损计算。根据每回配电线路的当月供售电量, 计算理论线损、实际线损, 并按馈线区域统计、显示和打印线损报表及统计分析图表。

(10) 动态组编辑。业务人员可在系统提供的地理图上结合系统提供的测量工具和实地现场查勘情况, 进行线路、杆塔、变压器的初步设计, 并可直接进行线路设备迁移与相关计算。例如, 可将电网中不同层的要素 (如电杆、变压器、线路等) 组成一个动态组, 在进行动态调整时 (如电杆移位), 则该电杆上所有的线路和设备同时自动移位, 并保持原有拓扑关系不变, 以方便电网系统的编辑和维护。

(11) 阻抗分析。根据线路型号计算线路电阻、电抗、电容、电纳等数据, 为电网分析提供参数。或根据变电站内部变化 (或杆变位置) 情况, 自动完成阻抗计算。

3. 负荷控制与管理 GIS

(1) 提供高负荷区域显示。

(2) 负荷密度分析。

(3) 负荷转移决策功能等。多路转供电方案的自动生成及其图形化模拟分析, 在系统发生故障时能提供负荷转移的方案。

4. 客户抄表与自动计费 GIS

电量指标 (用电量、电价): 能反映当前的实时用电量及其在地理图上的分布情况, 实时电价预测。

5. 客户报修管理子系统

用于配电网故障电话报警的检测, 并对相应的数据信息进行维护和处理, 根据客户的要求自动生成报表与统计图形。主要功能如下:

(1) 自动值班。接听报警电话, 语音应答, 根据报警电话的 DTMF (电话键输入) 信号记录报警信息。

(2) 人工值班。可以人工输入报警信息。

(3) 故障报修、故障定位分析。

(4) 抢修工作票自动传递、打印和查询统计。

(5) 抢修车 GPS 跟踪定位。

(6) 报警数据的维护。

(7) 各分区信息的检测与维护。

(8) 各种故障信息的维护。

6. 客户报装辅助设计子系统

根据客户的报装和客户地址信息以及配电系统当前情况, 辅助进行负荷审批。主要包括下列内容:

(1) 受理客户申请单。

(2) 辅助方案设计。

(3) 方案论证及会签。

(4) 工程预算。

7. 电网分析子系统

(1) 与 SCADA 接口。

(2) 基于图形的供电可靠性基础数据及可靠性现状图的自动生成。

(3) 停电模拟运行分析。

(4) 故障点的隔离及其图形化模拟分析。

(5) 短路电流计算。

(6) 潮流计算。

(7) 经济调度功能。

(8) 短期负荷预测。

(9) 无功电压分析。

(10) 事故情况下提供配电网紧急调度参考方案。

(11) 状态估计。

(12) 理论线损与实际线损的计算。

8. 基础信息子系统

(1) 图形编辑与查询, 电网图形分层分类管理和显示, 地理背景图分层管理和显示等。

图形数据包括:

1) 道路图、建筑物分布图、行政区划图、地形图等。

2) 配电网设备分布图。

3) 配电网走线图。

4) 已有的数字化图形 (如 CAD 格式)。

对图形数据的操作主要包括:

1) 配电网系统的设备分布图的显示 (含任意缩放、平移、全图及图层管理等)。

2) 网络沿线追踪显示, 以便查看沿线设备及基础地形信息。

3) 配电网系统的设备运行状态信息显示。

4) 无缝图幅实时显示, 实现大范围配网图、基础地形图的无延时漫游显示功能。

5) 根据系统网络设备分布图 (基于地形图背景) 的网络结构模型, 自动生成网络运行图。

(2) 符号设计功能。提供符合国标的电力符号制作和调入功能。

(3) 属性编辑功能。提供电力设备设施属性数据的录入、增加、删除和修改功能。如配电线路的长度、型号、编号、额定电流; 配电变压器型号、编号、名称、安装位置、投运时间、检修情况、实验报告、原理图等。这些属性数据的用途是为结合图形进行档案资料的查询提供具体指标。

(4) 属性数据与图形数据的连接功能。

(5) 与配网 SCADA 的实时信息接口。包括从 SCADA 获取实时信息, 并将其动态转换

到 GIS 环境下。

(6) 自动生成电网拓扑结构。生成整个电网图、变电站一次接线图。

(7) 自动生成各种专业图。例如：

1) 配电网系统的设备运行图。

2) 由系统网络设备分布图及其属性数据，复合生成工程图，并支持工程图与属性表的混合输出。工程图纸输出还包括按任意比例输出全图和局部图。

(8) 条件查询功能。按各种条件（如设备设施名称、代码等）进行快速定位查询与显示。

(9) 在广域网环境下进行多部门、多专业的信息“自治管理”和“协调共享”。

9. 配网规划设计子系统

众所周知，配电网工程量大，人员投入多，操作费用高，因此工程实施前的网络规划和设计格外重要。运用 GIS 信息可视化技术的空间分析能力、最佳寻径功能，有关管理部门可以大大降低配电网的建设开支。此外，通过对不同区域的客户分布进行预测，可选择不同性能、不同容量的馈线。

据统计，配电网设备的投入和建设的完成只占总工程费用的 45%，而配电网管理和维护费用的比例高达 55%，因此配电网管理部门需要一个非常有效的网络管理手段。以前，虽然管理人员能够分析到很有价值的信息，但不能看到它的物理形式。利用 GIS 技术可使许多管理人员能以图形方式浏览这些信息，快速准确地指出故障地点，有效地估计出外部设备的性能，从而更清楚地了解操作费用。

配电网规划与设计子系统可结合地理背景图帮助规划与设计人员进行模拟查勘和初步设计，有效地减轻人员工作量，提高配网规划设计的效率和科学性，还可为管理人员方便及时地掌握配网建设、客户分布和设备运行的完整情况，为科学管理与决策提供及时可靠的依据。

配电网规划与设计子系统的主要功能构成如下：

(1) 杆塔定位设计。根据电力设计规范，结合城市规划数据进行基于地理底图的杆塔排位规划与设计，为埋设杆塔提供施工方案。

(2) 架空线选线设计。根据电力设计规范，结合城市规划数据进行基于地理底图的架空线的选线设计，为架设配电线路提供施工方案。

(3) 电缆选线设计。根据电力设计规范，结合城市规划数据进行基于地理底图的地理电缆的选线设计，为铺设配电线路提供施工方案。

(4) 变压器、高压客户、断路器、变电站（所）及各类附属设施的定位设计。根据电力设计规范，结合城市规划数据进行基于地理底图的变压器、高压客户、断路器、变电站（所）及各类附属设施规划与定位设计，提供施工方案。

10. 查询功能子系统

查询功能是系统提供的基本功能之一。主要包括：

(1) 配电设备台账及资料查询；

(2) 各种专业图及其相应的设备台账查询；

- (3) 模糊查询统计和复合逻辑查询统计;
- (4) 各种图形上任意指定区域的设备统计和查询,如点取、拉框取、拉图取等检索功能;
- (5) 正向电源辐射显示和反向电源通路显示;
- (6) 指定任意折线、圆、多边形的长度、面积、重心的查询和统计;
- (7) 电气线路与客户相对地理位置查询。

11. 报表管理子系统

主要包括:

- (1) 各种设备台账的输入、编辑、输出;
- (2) 各种年报表的生成、统计、查询、编辑、输出;

12. 库存设备管理子系统

库存设备管理是指对网络中设备的分布、安装日期、使用年限、用量、性能指标等的分类统计、定位查询的管理。以前,电网管理部门通过文件/数据库系统对网络状况进行局部的图文报表形式的统计分析,这样往往缺乏对全部资产有一个整体清晰的了解,并且导致电网设备管理难度大,使得投资未尽其效、安全系数不高、维修速度较慢。运用配电 GIS,电力部门可将设备的属性数据叠加在相应的地理街道图层中,这样就能确定每个地区的设备状况,再将不同地区根据设备状况不同用不同颜色表示,就可以使电力管理部门对其管理一目了然;同时,可对设备的定位查询、器材的更新维修提供简单明了的手段。

使用人员可利用系统方便地查看配电线路设备的实际分布与走向情况。同时,结合地理背景图和后台公共数据库的强劲支持,使用者可以利用最简单的鼠标点按操作得知线路设备的概要数据,或者利用简单的菜单操作查询完整的配网设备参数信息,包括线路档案、杆塔参数及相关材料表和安装图、以及变压器、隔离开关等杆上设备档案等。对于线路巡检与设备维护来说,这是简单、直观、有效的数据管理方式,真正实现了线路维护有的放矢。

所有的系统设备档案和客户设备档案管理均可采用数据库管理软件进行管理。管理内容包括对变电站(开关站、配电站)、配电线路(架空线、电缆线)、杆塔、配电变压器、高压客户、断路器以及避雷器等设备的基本档案进行管理。可把 GIS 同实际中的配电网络有机地结合起来,在地图上表示出配电网络模型,用不同的图形元素代表配电网络中的线路、断路器、隔离开关、变压器、电压互感器、电容器等各种各样的配电设备,并可把这些设备与外部数据库灵活地挂接起来,直观形象地完成设备的管理。

13. 接口管理子系统

提供与以下系统的接口,以便系统联动。

(1) 与 MIS 和 OA 系统的接口。获取配电网各种设备设施的指标,实现基于 GIS 的设备设施静态管理。

(2) 与配电 SCADA 的接口。获取配电网各种设备设施的三遥数据,实现对电网的监测和实时信息的显示。

(3) 与负控系统的接口。

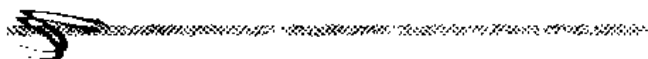
(4) 与营业系统的接口。获取营业系统的各种参数,以便汇总、统计。

(5) 与远方自动抄表系统的接口。获取用电量指标,以便自动汇总、统计。

(6) 与 Internet 的接口。向社会发布供用电信息及有关配电网运行状况。

(7) 与客户报修系统接口。

7.3 配电 GIS 的主要技术



在配电 GIS 工程建设中, 需要多种技术的支持, 包括计算机及网络技术、数据库技术、空间信息技术、系统集成技术等。以下主要对相关的技术本身进行介绍, 以使读者对配电 GIS 的技术内涵有一个整体的认识 and 了解。

7.3.1 可视化技术

可视化 (Visualization) 是指在人脑中形成的对某物 (某人) 的图像, 是一个心理处理过程, 促进对事物的观察力及建立概念等。科学计算可视化是通过研制计算机工具、技术和系统, 把实验或数值计算获得的大量抽象数据转换为人的视觉可以直接感受的计算机图形图像, 从而进行数据探索和分析。地学专家对可视化在地学中的地位 and 作用已经进行了比较深入的讨论, 从不同的角度提出了与可视化密切相关的地图可视化、地理可视化、GIS 可视化、探析地图学、地学多维图解、虚拟地理环境等概念。地理空间可视化是把获取的各种地理空间数据, 经空间可视化模型的计算分析, 转换成可被人的视觉感知的计算机二维或三维图形图像, 并可对生成的影像进行二维或三维可视化查询或地学模型的计算分析。地理空间可视化包括地理空间的二维可视化和地理空间三维可视化。

地理空间二维可视化, 是把二维的地理空间数据转换成二维计算机屏幕上的图形图像, 由于在相同的空间维数 (二维空间) 上映射, 所以只需把大地坐标系与屏幕坐标系相对应即可。

地理空间的三维可视化, 是把三维的地理空间数据转换成二维计算机屏幕上的图形图像, 是属于从三维空间到二维空间的映射, 需要一系列的计算机图形学处理技术。

GIS 可视化早期受限于计算机二维图形软硬件显示技术的发展, 大量的研究放在图形显示的算法上, 如画线、颜色设计、选择符号填充、图形打印等。继二维可视化研究后, 进一步发展为对地学等值面的三维图形显示技术的研究, 它是通过三维到二维的坐标变换、隐藏线、面消除、阴影处理等技术, 把三维空间数据投影到二维屏幕上。由于地学数据场的表达是二维的, 而不是真三维实体空间关系的描述, 因此属于 2.5 维可视化。但现实世界是真三维空间的, 二维 GIS 无法表达诸如地质体、矿山、海洋等地学真三维数据场。所以, 从 20 世纪 80 年代末以来, 真三维 GIS 及其可视化成为 GIS 的研究热点。随着计算机、图形图像技术的飞速发展, 人们现在已经可以用丰富的色彩、动画技术、三维立体显示及仿真 (虚拟现实) 等手段, 形象地显示各种地形特征和植被特征模型, 也可以模拟某些还未发生的物理过程 (如天气预报)、自然现象及产品外形 (如新型飞机)。从 GIS 及其可视化的发展看, GIS 可视化着重于技术层次上, 例如数据模型 (空间数据模型、时空数据模型) 的设计, 二维、三维图形的显示, 实时动态处理等, 其目标是用图形呈现地学处理和分析的结果。从可视化实现层次来分, 有简单的结果后处理、实时跟踪显示、实

时交互处理等。通常一个可视化过程包括数据预处理、构造模型、绘图及显示等几个步骤。随着科学技术的发展,人们对可视化的要求不断提高,可视化技术也向着实时、交互、多维、虚拟现实及 Internet 应用等方面不断发展。

空间数据的可视化表达,是地理信息系统区别于一般商业化管理信息系统的重要标志。解决地理信息系统数据可视化表达的一般策略是:与标注的地图符号体系相类似,制定一套标准用于显示地理数据符号系统。地理信息系统标准符号库不但包括图形符号、文字符号,还应当包括图片符号、声音符号等。

7.3.2 空间查询技术

目前大多数商业化的地理信息系统软件都具有完备的查询功能,可以实现对空间实体的简单查找,如可通过鼠标所指的空间位置,系统可查找出指定位置或者指定空间范围内的空间实体以及该实体或者实体集的属性信息,并可进行简单的统计分析。空间查询技术一般采用两个步骤完成:首先借助于空间索引,在空间数据库中快速检索到被选实体;然后根据空间数据和属性数据的连接即可得到该空间实体的属性列表。

一般来说,地理信息系统中的空间查询是基于空间关系和基于属性特征而进行查询。基于属性特征的查询主要是在数据库中完成的。传统的地理信息系统软件都是采用商用关系数据库对属性数据进行管理,而发展已经很成熟的关系数据库又为我们提供了完备的数据索引方法及信息查询手段。几乎所有的关系数据库管理系统都支持标准的结构化查询语言(SQL)。利用 SQL,可以在属性数据库中很方便地实现属性信息的复合条件查询,筛选满足条件的空间实体的标识,再到空间数据库中,根据标识找到对应的空间实体。成熟的地理信息系统软件采用的空间数据结构使空间实体具备拓扑、顺序、度量等关系,在实际的应用中可以基于空间实体关系查询感兴趣的部分。如客户希望查询满足如下条件的城市:

- (1) 在某条公路的北侧;
- (2) 距离该公路 20km;
- (3) 城市人口大于 30 万;
- (4) 城市选择区域是特定的多边形。

整个查询计算涉及了空间顺序关系(公路北侧)、空间距离关系(距离该公路 20km)、空间拓扑关系(被选城市的特定选择区域之内)、属性信息查询(城市人口大于 30 万)。简单地采用 SQL 完成上述查询任务仍存在困难,为此发展了基于地理信息系统的“空间查询语言”(Spatial Query Language)可作为解决问题的方案。空间查询语言不仅可以使 GIS 客户方便地访问、查询和处理空间数据,也可以实现空间数据的安全性和完整性控制。它是传统关系数据库的标准 SQL 的扩充,使其能对空间数据库进行查询。

7.3.3 空间分析技术

空间分析是对分析空间数据有关技术的统称。根据数据性质不同,可以分为:①基于空间图形数据的分析运算;②基于非空间属性的数据的分析运算;③空间和非空间数据的

联合运算。空间分析赖以进行的基础是地理空间数据库，其运用的手段包括各种几何的逻辑运算、数理统计分析、代数运算等数学方法，最终的目的是解决人们所涉及的地理空间的实际问题，提取和传输地理空间信息，特别是隐含信息，以辅助决策。以下将介绍基于矢量数据结构的空间量测与计算、空间变换、缓冲区分析以及叠加分析等常用的空间分析方法。

空间量测与计算是空间分析的基础，目前地理信息系统中常见的量测与计算功能有以下几种。

1. 空间量测与计算

(1) 几何量算。几何量算对不同的点、线、面地物有不同的含义：

- 1) 点状地物 (0 维)：坐标；
- 2) 线状地物 (1 维)：长度、曲率、方向；
- 3) 面状地物 (2 维)：面积、周长、形状、曲率等；
- 4) 体状地物 (3 维)：体积、表面积等。

一般的 GIS 软件都具有对点、线、面状地物的几何量算功能，或者是针对矢量数据结构，或者是针对栅格数据结构的空间数据。

(2) 形状量算。面状地物形状量测要从两个方面考虑：空间一致性问题，即有孔多边形和破碎多边形处理；多边形边界特征描述问题。

(3) 质心量算。质心是描述地理对象空间分布的一个重要指标。质心通常定义为一个多边形或面的几何中心，几何中心的计算随着多边形的复杂程度的增加而难度加大。

(4) 距离量算。“距离”描述两个事物或实体之间的远近程度。最常用的距离概念是欧氏距离，适合于矢量和栅格两种数据结构。在 GIS 中通常需要量算两点间的距离，或一点到各点的距离，可采用欧氏或者非欧氏距离计算公式获得。

2. 空间变换

地理信息系统通常是按有一定意义的图层和相应的属性建立空间数据库的。为了满足特定空间分析的需要，需对原始图层及其属性进行一系列的逻辑和代数运算，以产生新的具有特殊意义的地理图层及其属性，这个过程称为空间变换。针对地理信息系统的矢量和栅格两种数据结构的特点，在进行空间变换处理中将采用不同的方法。基于栅格结构的空

3. 缓冲区分析

缓冲区分析是地理信息系统中使用非常频繁的一种分析。所谓缓冲区就是地理空间目标的一种影响范围或服务范围。从数学的角度看，缓冲区分析的基本思想是给定一个空间对象或集合，确定它们的邻域，邻域的大小由邻域半径决定。点、线、面对象的缓冲区示例如



图 7-1 点、线、面的缓冲区分析

图 7-1 所示。

缓冲区分析的作用是用来限定所处理的专题数据的空间范围，一般认为缓冲区以外的数据与分析无关，而位于缓冲区以内的信息均是与构成缓冲区的核心实体相关的（邻接或者关联），例如在道路拓宽工程项目中，待拓宽道路为线状地物目标，预计拓宽的宽度为缓冲区的半径，计算出落入缓冲区范围内房屋数量及其面积，这是工程中需要拆迁的地物，进一步可计算出拆迁费用等指标。

4. 叠加分析

大部分的 GIS 软件是以分层的方式组织地理实体的，按照不同的主题提取地物，具有同一属性或相似属性的地物将分为一层。每一层即可以用点、线、面图层文件方式表达，也可以用栅格结构的图层文件格式进行表达。叠加分析是 GIS 中常用的提取隐含信息的重要手段之一。地理信息系统中的叠加分析是将有关主题层组成的数据层，进行叠加产生一个新的数据层的操作，其结果综合了原来两层或是多层要素所具有的属性。叠加分析可以分为以下几类：视觉信息叠加、点与多边形叠加、线与多边形叠加、多边形叠加。

(1) 视觉信息叠加，是将不同侧面的信息内容叠加显示在结果图或者屏幕上，以便判断其相互空间关系，获得丰富的隐含信息；视觉信息叠加不产生新的数据层，只将多层数据信息复合显示。

(2) 点与多边形叠加，实际上是计算多边形对点的包含关系。在 GIS 中可计算每个点相对于多边形的位置。通过点与多边形叠加，可以计算出每个多边形里有多少个点，不但要区分点是否在多边形内，还要描述在多边形内部的属性信息。通常不直接产生新的数据层，只是属性信息叠加到原图层中，然后通过属性查询间接得到点和多边形叠加的有关需求信息。

(3) 线与多边形叠加，是比较线上坐标与多边形坐标的关系，判断线是否落在多边形内。计算过程通常是计算线与多边形的交点，只要相交，就产生一个节点，将原线打断成多条弧段，并将原线和多边形的属性信息一起赋给新的弧段。根据产生的新的数据层，可计算落在多边形内的线段的长度。

(4) 多边形叠加，是 GIS 最常用的功能之一。多边形叠加将两个或多个多边形图层进行叠加产生一个新多边形图层，其结果将原来多边形要素分割成新要素，新要素综合了原来两层或多层的属性。叠加过程可分为几何求交过程和属性分配过程两步。几何求交过程首先求出所有多边形边界的交点，再根据这些交点重新进行多边形拓扑运算。多边形叠加结果通常把一个多边形分割成多个多边形。属性分配过程最典型的方法是将输入图层对象的属性拷贝到新的属性表中，或把输入图层对象的标识作为外码，直接关联到输入图层的属性表。多边形叠加完成后，根据新图层的属性表可以查询原图层的属性信息，新生成的图层和其他图层一样可以进行各种空间分析和查询操作。

7.3.4 网络技术

计算机网络是实现计算机之间通信的软件和硬件系统的统称。广义上讲，利用磁盘在两台计算机之间拷贝数据也可以认为是一种特殊的网络。它的更加具体的定义是“以共享

资源为目的,通过数据通信线路将多台计算机互连而组成的系统”。共享资源包括计算机网络中的硬件设备、软件或者数据。根据计算机网络中网络节点或者终端的连接方式的不同,具有如下的网络拓扑结构:星形拓扑结构、总线拓扑结构、环形拓扑结构、树形拓扑结构、完全连接结构、相交环形结构、不规则拓扑结构等等。我们还可以根据其空间分布范围的大小,区分为局域网(Local Area Network, LAN)、城域网(Metropolitan Area Network, MAN)和广域网(WideArea Network, WAN)。

因特网(Internet)又称国际计算机互联网,是目前世界上影响最大的国际性计算机网络。其准确的描述是:因特网是一个网络的网(a network of network)。它采用TCP/IP协议将各种不同类型、不同规模、位于不同位置的物理网络连接成一个整体。万维网(WWW)的出现对于因特网来说具有划时代的意义,使得因特网的应用范围更加宽广。WWW是存储在全世界的Internet计算机中彼此关联、数以百万计的文档集合,它是世界上最大的电子信息仓库。在WWW应用中,Web文档存放于一台或者多台计算机上,称为Web服务器,客户利用浏览器来访问Web站点。在20世纪90年代后半段,随着因特网的发展,出现了企业内部互联网(Intranet)这个崭新的概念。Intranet是企业自己的内部网络,它可采用Internet工具,如Email,Web浏览器和文件传输等,因而使得一个企业内部充分享用因特网的各种优势,如信息共享和管理、实时通信和协作、使用分布式的数据库等等。

随着网络技术的发展,基于客户机/服务器体系结构,并在网络支持下的分布式GIS系统结构已经成为地理信息系统的发展趋势。在基于C/S(client/server)模式的分布式网络GIS中,客户机与服务器由相应的软件、硬件及数据库组成,其组合方式可按数据库和GIS功能的分布位置划分为以下几种:

(1)把GIS软件、DBMS、数据库都放在服务器上,客户端只负责客户界面功能。该结构缺点是增加了服务器的负载。

(2)将数据集中放在服务器端,客户端提供GIS功能。由客户向服务器发出处理数据的请求,服务器响应请求,并将所需数据向客户端传输。

(3)将绝大部分GIS功能集中在高性能、大容量的服务器上,数据分散到客户端存储和管理。由于GIS具有庞大的数据量,采用该方式会增加网络的数据传输量,从而降低网络系统的整体性能。

以上三种体系结构各有利弊,采用何种模式需要根据现有条件及工程项目建设的具体情况而定。互联网地理信息系统与单机地理信息系统相比较具有很强的灵活性,有利于数据共享、设备共享以及通信。但互联网地理信息系统技术有待进一步发展。

WebGIS(万维网地理信息系统)就是利用Web技术来扩展和完善地理信息系统的一项新技术。Web采用HTTP协议实现数据在网络间的传输,具有较强的客户交互能力,可以传输并在网络上通过访问浏览器显示多媒体数据,而GIS中的信息主要是需要以图形和图像方式表现的空间数据,Web技术的出现为GIS空间数据在网上传输与发布提供了可能。如前所述,WebGIS是互联网GIS的一种应用实例,是其重要组成部分。基于B/S(Browser/Server)体系结构的WebGIS可实现客户端的软件的零维护。客户通过浏览器从服务器下载数据进行交互式操作,实现GIS的应用功能。

以下将对 WebGIS 的几种实现技术做分析比较。根据访问网络数据库方法可分为：

(1) CGI (Common Gate Way Interface) 方法。提供了一个在浏览器与服务器之间，以及服务器上其他软件之间的一个接口，它允许网页客户通过网页命令来启动一个存在于服务器的程序 (CGI 程序)，并接收到该程序产生的结果。

(2) Server API 方法。在实现方法上，SAPI 与 CGI 类似，不同的是 CGI 程序可单独运行，而 SAPI 往往依附于特定的 Web 服务器，并且只能在 Windows 环境下运行。

(3) 插件方法。浏览器中加入插件，可将一部分服务器功能转移到客户端，利用插件，客户端可处理和传输矢量格式数据，可减小网络传输量。

(4) Java Applet 方法。将 Java Applet 嵌入到网页中由浏览器解释执行。客户通过浏览器下载服务器端的 Java Applet，不需安装。利用 Java Applet 使数据处理操作可在服务器与客户机两端实现，从而实现两端负载均衡。

(5) ActiveX 方法。ActiveX 是在微软公司 OLE 技术基础上发展起来的因特网技术，基础是微软的 DCOM，它是一个技术标准。与 Java Applet 一样，ActiveX 控件可嵌入到 HTML 网页中，在因特网上运行，但只能运行于 MS-Windows 平台上，并且可做磁盘操作，其安全性差，优点是运行速度快，软件开发效率高。

7.3.5 数据库技术

数据库是把相关的数据集合以综合的方法进行组织，使客户能有效地处理数据；数据库就是为一定的目的服务，以特定的数据存储的相关联的数据集合，它是数据管理的高级阶段，是从文件管理系统发展而来的。地理信息系统的数据库（简称空间数据库或地理数据库）是某一区域内关于一定地理要素特征的集合。在数据库中，数据的结构和标识以及其性质和特征相当复杂，需要有形式化的方法来描述数据的逻辑结构和各种操作，于是产生了数据模型的概念。数据模型可看作表示现实世界的规格说明。具体地说，数据库的数据结构、操作集合和完整性规则组成数据库的数据模型。数据模型可分为三类：一是面向记录的传统数据模型；二是注重描述数据及其之间语义关系的语义数据模型；三是面向对象模型，它是在前面两类数据模型基础上发展起来的面向对象的数据模型技术。

传统的数据模型主要指层次、网格和关系三种模型（如第一章所述），它是文件系统中数据模型的继承和发展。传统数据模型带有很深的面向计算机和面向实现的烙印。在非事务处理的应用中，例如 CAD、CAM、办公自动化、基于知识的系统等，人们越来越感觉到它的局限性和不足。表现为：①以记录为基础，不能很好地面向客户和应用；②不能以自然方式表示实体之间的关系；③语义贫乏；④数据类型太少，难以满足应用需求。

语义数据模型发展的基本目的是克服传统数据模型的缺陷，提供不受具体的实现结构的限制，更多地面向客户的模型。它能提供一种“自然”的机制来说明数据库的设计，还能更准确地表示数据及数据间的关系。

面向对象的概念起源于程序设计语言，对象是客观世界实体的抽象描述，由信息（数据）和对数据的操作组合而成。面向对象数据模型提供了表示复杂对象的能力，可在任意层次上嵌套各种类型构造符（数组、表、元组等），同时可表示数据之间的各种特殊关系。

地理信息系统数据库与一般的管理信息系统数据库存在不同之处。从数据源的角度来看,图形和图像数据是地理信息系统数据库的一个主要来源,分析处理的结构也常用图形的方式来表示。而一般的管理信息系统,则多以统计数据、表格数据为主。这一点也使地理信息系统在硬件和软件上与一般的管理信息系统有所区别。空间数据库与一般数据库相比,具有以下特点:①数据量特别大;②既有地理要素的属性数据(与一般数据库中的数据性质相似),又有大量的空间数据,并且这两种数据之间具有不可分割的联系;③数据应用广泛,如地理研究、环境保护、土地利用与规划等等。

根据地理信息系统空间数据特点,在GIS中,数据管理方法主要有以下四种类型:

(1) 对不同的应用模型开发独立的数据管理服务,这是一种基于文件管理的处理方法。

(2) 在商业化的DBMS基础上开发附加系统。开发一个附加软件用于存储和管理空间数据。

(3) 使用现有的DBMS,通常是以DBMS为核心,对系统的功能进行必要扩充,空间数据和属性数据在同一个DBMS管理之下。需要增加足够的软件和功能来提供空间功能和图形功能。

(4) 重新设计一个具有空间数据和属性数据管理与分析功能的数据库系统。

7.3.6 系统集成技术

地理信息系统是IT产业中目前发展最为迅速的信息系统之一,它具有实现空间数据的拓扑结构描述、可视化(二维三维模型表达)编辑、多种形式输出、图形与属性一体化管理及空间数据检索与分析等功能。GIS通过将普通的数据库操作功能(如查询和统计分析)与地图所具有的直观和地理分析功能相结合,使其具有与其他信息系统不同的特点。同时随着电子技术、通信技术、网络技术、计算机技术和信息处理技术日新月异,从过去主要进行数据采集、数据处理发展到现在具有集成各种数据、文字、语言、视频和图形图像共享的能力。其应用覆盖工业、农业、交通运输、环保、国防、公安等部门,成为一个与国民经济发展极为密切、关系到国家的主权和安全的高新技术领域。

系统集成从本质上讲是系统结构的组织方法,是指将不同软件系统的功能模块与具体的数据结合成为一个针对最终客户的新系统。这个集成绝不是各种软件功能模块的简单叠加,而是各个模块的有机结合、在线的连接、实时处理和系统的整体性;或者说是把各个组成部分在不同层次采用不同的技术手段实现整合、以获得协同效益,从而形成一个完整的针对客户的应用,是以实现客户数据的有效组织为核心。集成从性质上应包含以下三个方面:

(1) 集成技术。根据系统学的观点,相同的组成部分存在不同的结构,其系统存在很大的区别,体现不同的属性和性能。建立信息系统的联系是通过一定的技术手段来实现的,即集成技术。例如多客户的信息共享,在早期的主机系统中,通过终端与主机的连接来实现各个客户的集成,到微机时代,通过C/S网络等来实现微机之间的连接,而在互联网时代,则通过Internet/Intranet来实现客户之间的信息共享。

(2) 功能集成。一个信息系统是根据客户的应用需求开发的, 所谓应用集成就是系统集成商要深入了解客户的实际需求, 协助客户进行可行性分析、需求分析、总体方案设计、网络设计及数据库组织管理等, 对客户的需求重点、历史情况、行业特点及投资概算都需要有一个完整的了解, 并将这些信息有机地体现在系统集成方案中。从此意义上而言, 应用集成是系统集成的依据和表象。在此基础上, 对客户的具体需求进行抽象, 进而形成具有独立意义的功能模块, 各个功能模块为客户提供不同功能。这些功能模块并不是完全独立的, 它们之间还存在数据、逻辑等方面的联系, 只有集成起来才能够为客户提供良好的服务。由此可见, 功能集成是系统满足客户需求的基础, 是系统集成的目的。

(3) 数据集成。数据的集成主要体现在三个方面, 一个方面是对数据的运用, 即数据如何进入到系统, 并且能够把这些数据组织好来实现应用功能。一个方面是数据如何在系统内实现流动和交换, 由于系统一般采用模块化方式来组织, 所以在各个模块之间有必要进行数据交换。同时, 可能在一个完整的应用中, 由不同的软件来协同完成, 各个软件之间联系的重要方式之一就是数据交换。所以, 数据集成的好坏直接影响应用内部模块或软件之间的融合程度。最后一个方面, 系统处理的成果往往体现为两种形式: 一种是在显示屏上显示或打印输出, 体现了信息系统的界面集成; 另外一种形式是通过数据输出或转换的方式。

现代软件的开发模式, 将不是从头开始, 而应该大量采用成熟的技术、产品和控件, 充分发挥它们的优势, 将它们有效结合, 以完成预定的目标。

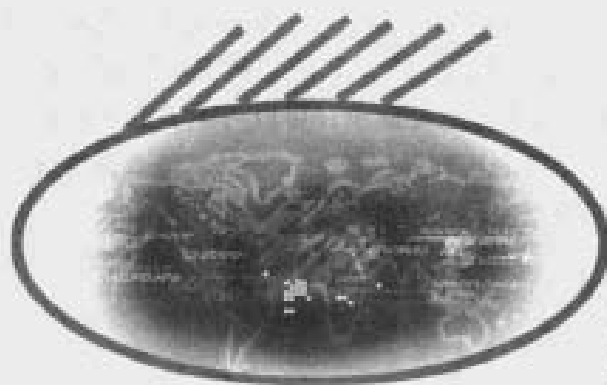
系统集成的特点是: ①使用成熟产品, 系统运行稳定可靠; ②开发效率高、见效快; ③定制界面灵活, 能满足多层次客户需求; ④属性查询反应迅速。

7.3.7 地图分层技术

地理信息系统中的数据是分层组织和存储的, 分层的基本原则是将同一类数据组织在同一存储层上。在实际应用中, 空间数据库的建立也需要根据应用系统及行业需求采用不同的分层方法。如在配电地理信息系统中空间数据库的建立需要分为两大类: ①基础地理信息层, 包括房屋层、道路层、一般建筑物层、城市区划层、城市基础设施层及其他地物层等; ②配电设备层, 包括变(配)电站层、线路层、杆塔层、电缆层、变压器层、开关层、实时数据层、配电设施文字标注层等。在空间数据库建库过程中, 可以根据实际需要, 将一些用处较小的图层, 如基础地理信息层中的除房屋层和道路层外, 都归并为一层, 作为背景图层处理。

对于配电设备设施数据的分层处理, 可根据配电设备的性质, 按点、线、面分层。各种设备数字化时注意配电设备的符号要符合《电气设备用图形符号绘制原则》(GB5465.1—1985) 及相关标准的规定。在系统建设中, 根据开发平台的性质, 可对配电设备设施数据采用不同的分层方式。如 MapInfo 平台允许点、线、面三种要素可同时存在于一个图层中, 而 Arc/Info 则不允许同一层中既包含点要素又包含多边形要素, 所以配电设备设施数据的分层处理应该根据 GIS 平台而定。在对基础地理信息数据进行建库分层处

理过程中还应注意以下几个问题：①原始基础地理数据的输入。电子地图数据可到测绘部门购买，这可保证空间数据权威性、准确性和及时更新。②基础地理数据的选择。配电GIS中所关心的数据并不是很多，所以在数据录入和分层处理中，可以将不关心的数据过滤出去，以减少数据输入的工作量。③基础地形图的比例尺选择。在基础地理数据库建库过程中，不能盲目追求大比例尺数据，而应该根据实际需要选择合适的比例尺数据。



8

配电地理信息系统 空间数据库设计

在明确了配电 GIS 功能和实现技术后,如何合理组织配电系统的数据,使之结合地理信息系统技术成为配电系统有效的信息进而为配电 GIS 的高级分析功能或企业层数据挖掘提供支持,为发现知识提供信息资源呢?针对这一问题本章将重点对配电 GIS 空间数据库系统的设计、组织及相关技术进行论述。

8.1 配电地理信息系统空间数据库设计原则

配电 GIS 的信息体系涉及到电力系统的管理信息、SCADA 实时信息、客户负荷检测信息、地图信息以及多媒体信息等,数据类型复杂,数据量大。其中地图信息包括地理背景图、线路图以及变电站、杆塔、变压器、断路器、丝具等电力设备设施分布图;多媒体信息包括文本、声音、图像、录像等信息;实时信息包括各种电力设备的实时监测数据。

结合配电 GIS 本身的特性和 GIS 空间数据库的独特性,配电 GIS 数据库在设计上必须遵循以下设计原则:

1. 大容量数据管理

大容量数据是 GIS 数据库的一大特点,这就要求数据库的组织与设计能支持大容量数据管理。特别是能提供高效的检索、查询速度,否则会影响整个系统的运行效率。

2. 信息的高集成度

GIS 数据源多种多样,且它们之间的数据类型差异很大。因此配电 GIS 应能使这些数据相互兼容,将它们真正集成在同一数据库中,从而设计出矢量图形、栅格影像和属性数据等多类型数据完全集成的数据库。

3. 空间分析功能的支持

GIS 软件最为独特的特点就是具有空间分析功能。空间分析不仅要求软件具有空间分析模型,而且其数据也必须支持空间分析的功能。

4. 分布式结构

随着网络技术的蓬勃发展, GIS 也正在向网络化方向发展, 这就要求 GIS 数据库分布在一些网络节点上, 以便数据的共享与更新。因此, 配电 GIS 数据库还应具有分布式数据库的特点, 能够在网络上进行管理, 支持远程访问。

根据以上设计原则, 配电 GIS 的数据库应设计为集图形数据库、属性数据库、多媒体数据库及实时信息数据库于一体的多媒体实时空间数据库。

在特定应用中有可能涉及若干种不同类型的数据, 如文本、声音、图像和表格化的数据等, 含有这些数据的数据库称为多媒体数据库。多媒体空间数据库是以多媒体的形式表示 GIS 空间数据(图形数据和属性数据)、遥感影像数据、视频数据、音频数据及动画数据, 它是将多媒体空间数据有机地集成于一体, 不仅提供了操作地理空间数据的功能, 还提供了相应的多媒体数据操作能力。多媒体数据库的问题包括不同类型数据的有效存储以及将不同对象类型综合到单个相同的框架中。客户需要具有输入不同数据类型的环境以及用直接方式扫描不同数据类型的工具。

多媒体空间数据库结合空间数据库和多媒体的特点, 采用两者的数据存储与处理方法, 以空间对象为主框架, 将多媒体数据附着于对象上。在空间数据的具体组织中主要涉及以下几方面内容:

(1) 属性数据组织。属性数据是指一个对象的非空间、非多媒体数据, 如对象的名称和类型等。属性数据是由多个属性数据项组成的。

(2) 图形数据组织。图形数据是多媒体空间数据库系统的核心, 是整个系统的主体。基本空间数据类型有点、线和面。为了减少数据冗余, 可采用以节点和弧段为基础的数据组织形式, 即只有节点和弧段才包含空间位置信息, 其他空间对象都是由这些基本节点和弧段构成的。

(3) 静态图像数据组织。静态图像数据是指通过分析和处理(如压缩)后以某种图像格式存储的图像数据, 可以是一般的景物图像(如电力设备图像), 也可以是遥感图像(如市区遥感影像图)。

(4) 声音数据组织。声音数据主要是指音乐或文字的声音文件数据。

8.2 静态空间数据库设计与组织



8.2.1 配电 GIS 的数据来源

1. 图形数据

配电 GIS 的图形数据可为购买的现有电子地图如行政区、道路、建筑物和地形图(对其进行适应性处理), 也可通过 GIS 软件数字化和扫描矢量化来获取, 如配电网设备分布图。另外也可将已有的数字化图形(CAD 格式)通过数据格式转换纳入配电 GIS 中以减少重复劳动和节约开支。

2. 属性数据

系统的属性数据除了可直接在系统中录入外, 还可直接访问和转换本地数据(Dase、

Excel、Access 等)和远程数据(Oracle、SQL Server、SQLBase 等)。

3. 实时信息

实时信息则通过网络共享接口数据库获取(一般来自于 SCADA)。

4. 多媒体信息

多媒体信息则需要运行多媒体信息制作工具,如扫描仪、CCD 相机、视频捕捉卡、数字化录音设备等工具来制作。

8.2.2 空间数据和非空间数据的连接

空间数据是以统一的坐标系统进行空间定位的图形信息,而非空间数据则主要是指用以描述这些图形对象的属性特征,即属性数据。空间数据输入时虽然可以直接在图形实体上附加其属性特征,但这样不适于交互式地输入大量复杂的非空间数据。空间和非空间数据连接的较好方法是用特殊程序把非空间属性数据与已数字化的点、线、面空间实体连接在一起。这样只要求空间实体带有惟一性的识别码即可,识别码可以手工输入,也可以由程序自动生成并与图形实体的坐标存储在一起。

而在非空间属性数据中也同样要加入标识记录惟一性的识别码(或称关键字)。它和图形的识别码都是空间与非空间数据的连接和相互检索的联系纽带。在具体的 GIS 软件中识别符往往用“ID”项来标识。如图 8-1 所示的全国地图中,北京作为一个点对象,其图形数据为该点的大地坐标;属性数据如图 8-1 信息窗所示,它们之间用“ID”来关联。“ID”项一般隐式表示,即在显示、编辑图形数据和属性数据中看不到这一项。

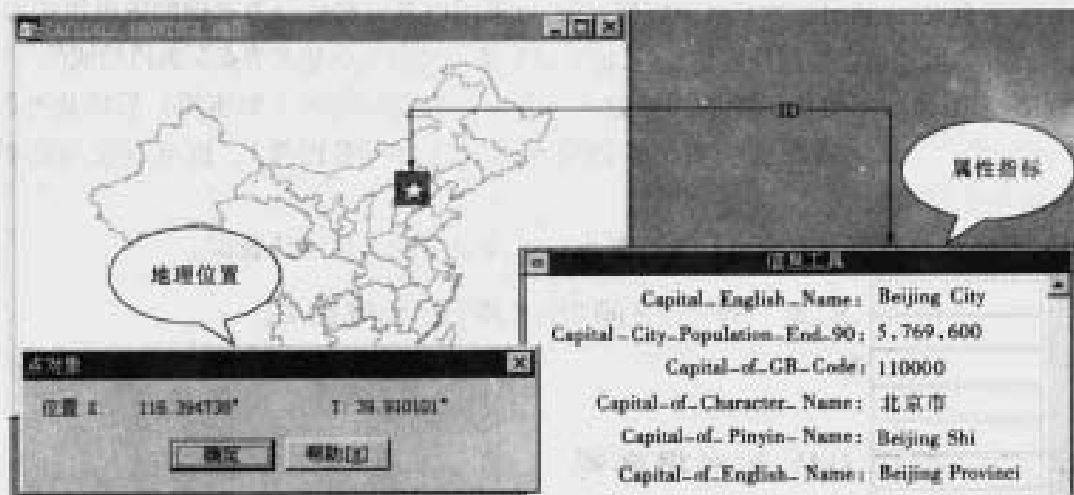


图 8-1 空间数据和非空间数据的连接

8.2.3 空间数据的分幅与分层

1. 分幅

分幅的目的:一是为了提高图形的显示效率(对于 1:500 大比例尺的市区电子地图,若每一操作都要进行整幅显示,将会极大影响工作效率);二是便于检索和分析。在大多

数情况下,分区是按矩形分区,而有时为了检索方便,也可按行政区划分。在配电 GIS 中,可采用矩形分区方法。分区如图 8-2 所示。

MAP1	MAP2	MAP3	MAP4
MAP5	MAP6	MAP7	MAP8
MAP9	MAP10	MAP11	MAP12

图 8-2 1:500 图幅分区图

2. 分层

层信息通常加在图形数据中,即将位序列码附在每个图形实体的数据记录头上,位序列码可以形成 64 或 256 种不同的层。具体层数取决于信息系统本身。另外,记录头还可按主要属性类别进行更加灵活的编码。属性类别可由客户定义,例如铁路、主要公路、小河流或土壤类型等。层信息使被显示图形实体的计数、标记、选择都变得很方便。

在配电 GIS 中,为了便于对各种电力设备设施数据进行管理,系统按设备分层,即每层对应于一种设备。同时,将市区电子地图作为背景底图单独划做一层。

空间数据的分层是建立在空间数据库之上的,它是一种逻辑关系,与数据库的物理存储无关。但为了便于对设备设施进行查询、统计等,应使设备设施层与数据库建立起一一对应的关系。因此,将空间数据库设计成专题数据库,每一专题数据库可为某种设备设施

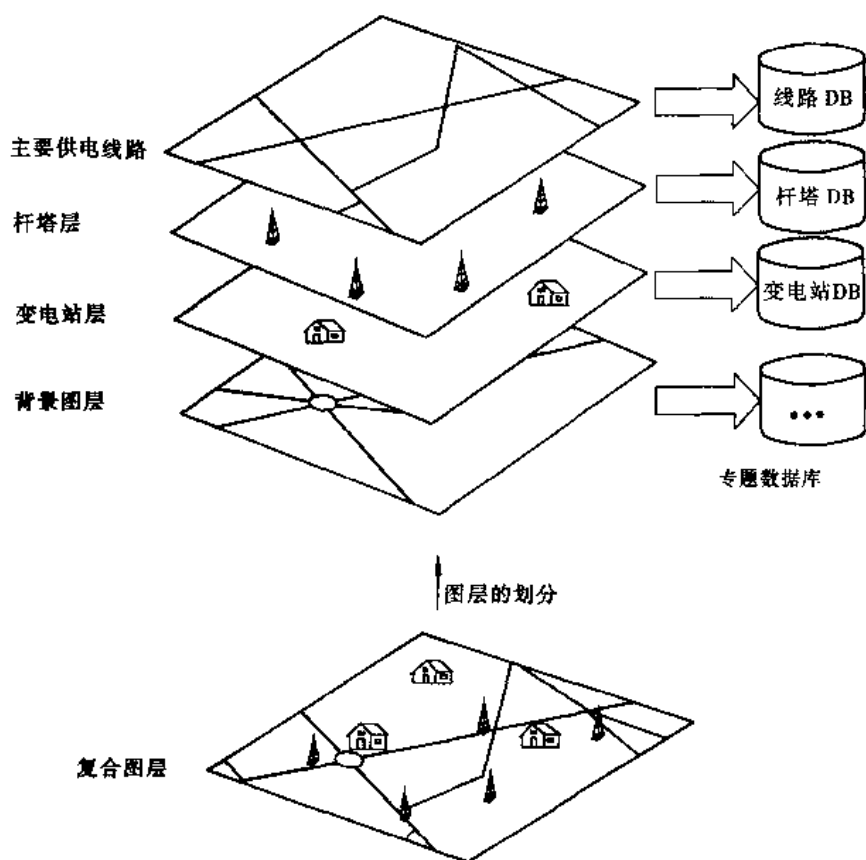


图 8-3 空间数据的分层

提供特定用途或目的的信息。同时,每一设备设施层也对应一个专题。设备设施层的划分及与专题数据库的关系如图 8-3 所示。

8.2.4 空间实体的简单拓扑关系

配电网图形数据有点、线、面三种空间实体,这三类空间实体的关系表达了实体间数量及性质上的联系,它是系统构成的基础。空间实体之间有六种基本关系:点一点、点一线、点一面、线一线、线一面、面一面关系。这六种基本关系在配电 GIS 的建立中均有所体现。

1. 点一点关系

配电网中的点一点关系主要体现在点与点的重叠上,如线路中的节点与杆塔点重叠(架设关系),杆塔点与悬挂在其上的电气设备点的重叠。

2. 点一线关系

配电网中的点一线关系主要体现在点与线的重叠与连接上,如杆塔点一定位于线上,而变压器一般与线路的某一端点连接,线线间也是通过节点相关联的。

3. 点一面关系

配电网中的点一面关系主要体现在点与面的包含和连接关系上,如一台变压器被其供电区域包含,或两者在逻辑上连接到一起。

4. 线一线关系

配电网中的线一线关系主要体现在线与线的重叠与跨越关系上,当配电网的一条线路与另一条线路交叉时形成跨越,而当两条线路同杆架设时则两线实体重叠。

5. 线一面关系

配电网中的线一面关系主要体现在线与面的跨越关系上,当配电线路与建筑物等重叠时,则形成跨越关系。

6. 面一面关系

配电网中的面一面关系主要体现在重叠覆盖关系上,如供电区域与行政区域的重叠。在系统构成时,应当考虑到上述关系。而用于构造配电 GIS 的桌面信息地图化工具 MapInfo 未采用拓扑结构(如邻接性、连通性、包含性、方向性等),但可以使用特殊的编辑功能(杆塔成线、线布杆塔、动态组编辑)以及整形、对象编辑等功能实现配电网中的一些简单拓扑关系。

8.2.5 空间数据库中属性表的设计

在关系数据库中,数据存储的文件单元是二维表,面表与表之间则维持着某种关系,这种关系依靠两个表中均存在的、被称为关联项(或关键字)的项来维持。关系表对一个数据库的设计而言十分关键,因为在对数据库进行查询、统计时,表与表之间的关联就是靠关联项来维系的。

关联项在某一特定表中可用来定义存在性和惟一性,即每一条记录的关联项的值都不同。如主线路表中的“主线路编号”;关联项也可不用来标识其惟一性,此时只用于检索数据。如杆塔及变压器表中的“所属线路编号”。以下列出了几个表中部分字段的定义。

主线路表的字段项:

字段	...	主线路编号	...	线路性质
类型	...	Char (10)	...	Integer

杆塔表的字段项:

字段	杆塔编号	...	所属线路编号
类型	Char (12)	...	Char (10)

变压器表的字段项:

字段	变压器序号	...	所属线路编号
类型	Char (10)	...	Char (10)

配电 GIS 所用的属性表一般为关系型数据库。在实现数据的查询、统计等功能时, 必须对表的结构作严格定义, 以便各表之间形成关联。对线路统计, 主线路表必须定义如下字段:

字段名	类型
主线路编码	Char (8)

而各设备表则定义以下字段:

字段名	类型
所属线路编号	Char (8)

通过此字段与主线路表进行关联。例如, 统计曙光路上变压器的个数, 涉及到主线路与变压器两张表, 可用如下语句实现 (以 MapInfo 为例):

```
SELECT 主线路编码 FROM 主线路表
WHERE "主线路名称 = 曙光路"
```

再通过主线路编码在变压器表所属线路编号中找出满足条件的变压器:

```
SELECT * FROM 变压器表 WHERE "所属线路编号 = 630".
```

主线路表

	主线路名称	主线路编号
	曙光路	630

变压器表

	所属线路编号
	630
	645
	630
	714

8.3 空间数据库集成

配电 GIS 信息来源多种多样, 既有数字化的电子地图, 也有许多种类不同的报表数据, 同时, 出于地图更新和三维显示的需要, 还可能包含遥感影像数据。另外, 现有的各种文档、规章制度、法律法规等往往也是配电 GIS 的重要信息。这些相异的数据集很难自然地结合在一起, 但又必须应用到 GIS 所需要的地方。GIS 数据库的集成设计还应考虑到地理数据有矢量和栅格之分, 各种数据又同时具有空间和属性的特征, 有的还有时间上的特征, 各种特征的信息可能要用不同的结构来表达, 各类数据的产生可能是采用不同的 GIS 软件来完成的, 这样数据的格式也各不相同, 一个数据库可能要求容纳各种各样的数据类型和格式。事实上, 在配电 GIS 中, 空间数据库及其他数据库或数据信息的种类不仅

繁多，而且庞杂。能否有效地集成这些数据关系到系统运行的效率、质量和数据的正确使用以及数字产品的生成和管理等。

GIS 信息源集成如图 8-4 所示。

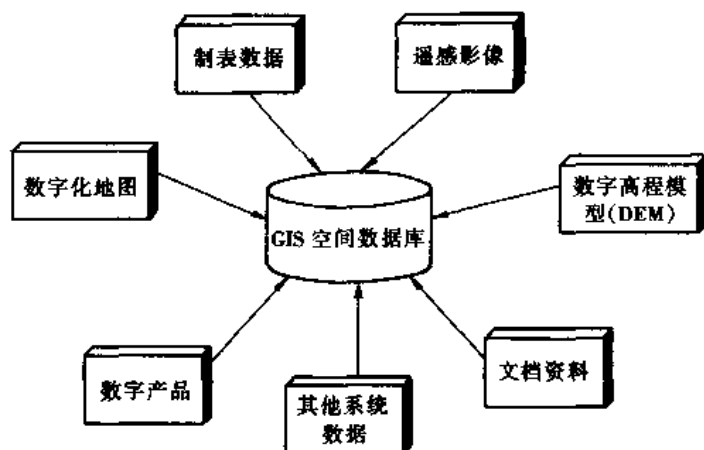


图 8-4 GIS 信息源集成

1. 地图

在众多的数据源中，地图是最主要的一种。地图按照一定的比例、投影原则将地球表面复杂的事物和现象投影到二维平面上，并用符号将这些内容表现出来。因此，地图是 GIS 数据主要来源之一，GIS 中的许多图层都是从某类地图上经数字化和编辑加工得到的，例如地理背景图、馈线图、台区图等。

2. 制表数据

制表数据可以是标准文件，如配电网的各种表格。这些数据可通过手工录入到 GIS 中，也可通过扫描仪输入。

3. 文档资料

例如电网运行中的事故记录、维修日志、电力 GIS 的各种规范、法律文档等。

4. 数字高程模型

数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 是表示某一区域上的三维相量有限序列，用函数的形式描述为

$$V_i = (X_i, Y_i, Z_i) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中， X_i ， Y_i 是平面坐标， Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高程。

数字高程模型广泛应用于工程、规划和军事领域，用于土方工程的填、挖量计算等，也可用于分析和标定由地形位置因素影响的区域界线。

5. 遥感影像

遥感影像包括由装载相机低空飞行的飞机或装载高精度电子传感器高空飞行的飞机以及装备特殊成像设备的航天飞行器（航天飞机和卫星）所获取的陆地影像和其他影像数据。

遥感数据能够提供大范围、可重复观测具有时间序列的瞬息静态图像。例如，在汛期，可以通过遥感影像得到一系列不同时间获取的洪泛区影像图，以便研究洪水淹没的情况。其中，雷达遥感是微波遥感的主要方式，雷达获取的影像又具有下列其他影像不具备

的特性:

(1) 雷达波束能穿透云雾、雨雪,不依赖太阳辐射,具有全天候工作能力,因此,可获取全天时图像。

(2) 微波对地物有一定穿透能力,因此,雷达图像可反映地表深度信息。

(3) 雷达图像能提供不同于可见光和红外遥感所能提供的某些信息。

(4) 雷达遥感不仅可以记录电磁波振幅信号,而且可以记录电磁波相位信息,由数次同侧观测得到的数据可以计算出针对地面上每一点的相位差,从而计算出该点的高程,其精度可以达到米级。利用这种技术,可以对地形变化进行监测,还可用以探明地下管线的敷设情况。

6. 其他系统数据

其他系统既包括 GIS (如 Arc/Info),又包括非 GIS (如 AutoCAD)。目前,国内外已发出许多著名 GIS 软件平台,每种系统都有其自身的内部格式。另一方面,许多野外实测地图所用的是非 GIS 软件 (如 AutoCAD)。因此,在 GIS 获取数据时不可避免地要涉及以其他系统格式存储的数据。若将这些不同格式数据集成到同一空间数据库就涉及到数据格式转换问题。在配电 GIS 中,地理背景图往往是已经生成的 CAD 形式的地图,需要进行分层和格式转换后才能使用。

8.4 空间数据库管理与更新

对于已建成的配电网空间数据库,无论是组织结构,还是其图形及属性数据,都不是一成不变的,而是随着人为因素 (如行政区的改变,更换电力设备) 或外界环境因素 (如地质的变迁) 的改变而改变。这些改变说明数据库的数据逐渐趋向老化和不完善,必须对数据库进行管理与更新才能确保数据的准确性和现实性。

空间数据库的管理与更新实际上是数据编辑内容之一,即修改陈旧数据且以新数据代替和补充。在规划更新数据库时应进行多方面的调查和分析,了解现存数据库中哪些空间数据发生了变化,变化程度多大,如何进行修改等。另外还需确定更新还是重建部分数据库的问题。有些地理数据每隔几年就必须完全重测,而有些地理数据则长期变化不太大。对于必须重测的数据只能重新数字化和重建数据库的有关部分。由于 GIS 数据库的特殊性,在更新图形数据或属性数据时,要保证属性与空间实体的一一对应关系。

配电 GIS 提供了强有力的数据输入和编辑功能。除了可直接引入的现有原始数据外,其他数据的输入均由编辑功能来实现。一方面因为有时输入的原始数据有错误成杂乱无序,需要修改,中间数据出现变动也需要更新;另一方面需要修饰图形、设计线形、颜色符号和注记等,组合复杂地物、输入原始数据、根据需要输出复杂图形等往往也是必需的。所以配电 GIS 中编辑功能是其中很重要的一部分。

8.4.1 编辑功能的设计

1. 编辑功能的分类

配电 GIS 除了能编辑文本外,还能编辑区域、折线、直线、圆弧和点,即配电 GIS 既

具有属性编辑的功能，又具有图形编辑的功能。另外，配电 GIS 还具有数据库建立和维护以及进行多媒体信息的编辑功能。

(1) 图形编辑。配电 GIS 可对任一配电管理对象进行添加、删除、移动等操作，对以线和面表示的还可以整形和节点的增加与删除，甚至可以进行各种更为复杂的对象编辑(合并、分割、平滑等)。另外，还可进行一些特殊的专业编辑功能。

(2) 属性编辑。配电 GIS 的属性编辑功能包括属性数据的输入、修改和更新等。

(3) 数据库建立和维护。配电 GIS 可建立新的数据库结构，也可修改现有数据库结构。另外还可删除、重命名和紧缩数据库。

(4) 多媒体信息的编辑。配电 GIS 可以通过查询多媒体信息，借用链接程序来对多媒体信息进行编辑。

2. 编辑功能的结构组织

配电 GIS 的编辑功能的结构组织如图 8-5 所示。

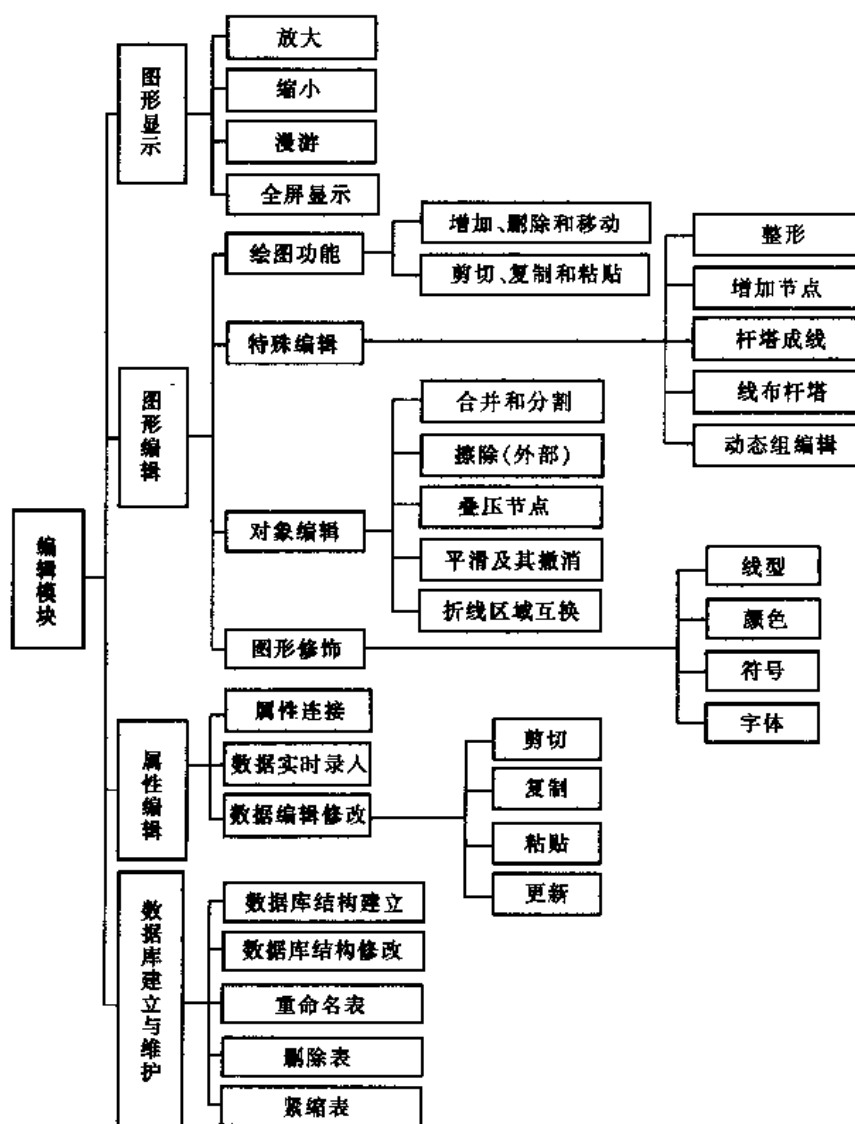


图 8-5 编辑功能结构组织

8.4.2 通用编辑功能的实现

同其他 GIS 一样, 配电 GIS 也可以实现强大的通用编辑功能, 如图形变换、图形绘制、图形修饰、属性编辑以及数据库建立和维护等。这些功能基本上可直接调用 GIS 基础平台的功能来实现。调用的方法如下 (以 MapInfo 为例):

MapInfo.RunMenuCommand < MapInfo 功能常量 >

1. 图形变换

配电 GIS 能实现以下图形变换功能:

- (1) 放大: 可中心放大也可开窗放大;
- (2) 缩小: 可中心缩小也可开窗缩小;
- (3) 漫游: 可使用漫游工具也可使用滚动条进行漫游;
- (4) 全屏显示。

2. 图形绘制

配电 GIS 可进行点、直线、折线、圆弧、矩形椭圆 (圆形)、圆角矩形、任意多边形以及注记的添加、删除、移动、剪切、复制、粘贴等; 能够方便地进行配电网各管理对象的地图绘制工作。

3. 图形修饰

配电 GIS 在绘图时可任意选择各种线型、颜色、符号、注记的类型; 可单个修饰对象也可成批修饰对象, 达到美观、醒目、易懂的效果。

4. 对象编辑

通过设置目标对象, 配电 GIS 可进行各种可能的对象编辑, 如对象合并、分割、擦除、擦除外部、叠压节点、平滑 (撤消平滑)、折线转换为区域、区域转换为折线等。

5. 属性编辑

配电 GIS 的属性编辑包括数据的输入、修改和更新。

(1) 多途径的数据输入。既可使用信息工具逐条进行单记录的录入, 也可以浏览表的形式进行多记录的录入。另外还可使用更新列进行整列的同时录入。

(2) 数据的修改和更新。数据的剪切、复制和粘贴可直接调用 GIS 基础软件 (如 MapInfo) 的功能实现。但若属性数据有对应的地图对象, 则这些功能是对属性数据和图形数据同时进行作用的, 因而在属性数据间往往仅能实现单记录值的剪切、复制和粘贴, 而未能实现整记录或多记录的同样功能。

6. 数据库的建立和维护

在 MapInfo 中, 数据库经常被称为表,

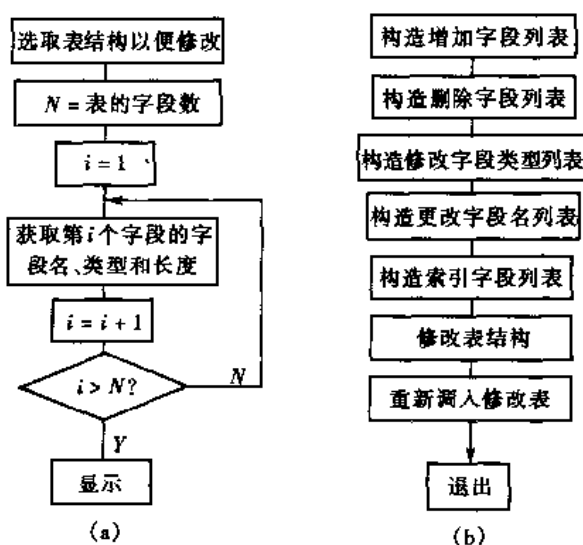


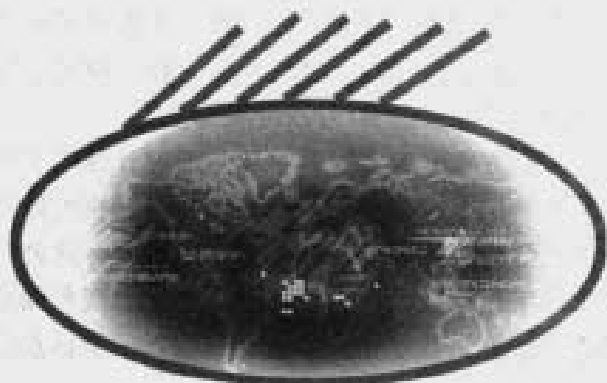
图 8-6 修改表结构

(a) 修改表结构的流程; (b) 表结构修改过程

是由一组文件组成的。利用 MapInfo 的常用功能可方便地建立和维护配电 GIS 的数据库。

(1) 数据库的建立与结构修改。配电 GIS 的数据库的建立与结构修改，有一个共同点就是均需对表结构即字段项的管理，生成一组 MapInfo 的表文件，因而方法是类似的。图 8-6 所示为修改表结构的实现过程。

(3) 表的重命名，删除和紧缩。由于数据库——表是以成组文件存在的，为了成组管理，因而提供了重命名表，删除表是有必要的；紧缩表也有利于释放多余的空间。



9

配电地理信息 系统应用

本章主要介绍配电 GIS 的几个实用功能,包括自动制图、设备设施管理、查询统计、信息浏览方法、特殊编辑功能、电力符号库设计、实时信息处理以及与客户故障报修系统的联动。这些功能在配电 GIS 中十分常见,属于配电 GIS 的基本要求,也反映了配电 GIS 的具体应用。

9.1 空间数据的输入



9.1.1 空间数据输入

数据的输入是将各种来源的数据编码转换为计算机可读形式并把数据写入 GIS 数据库的过程。数据输入通常是 GIS 建立的主要问题,是自动制图中不可缺少的一个环节。

1. 手工数字化

广泛采用的空间数据输入法是手工数字化地图。以下介绍一下手扶跟踪数字化输入法。

手扶跟踪数字化设备是用来记录和跟踪地图点、线位置的,它包括固定地图的数字化桌及光标。手工数字化过程是将地图固定在数字化桌上,然后用光标设备跟踪地图上的每一特征地物,这种设备有时称作鼠标、指示器。光标通常装有利于精确定位的十字丝和 16 个或更多的数字按钮、字母按钮,这些按钮用于控制数据输入的软件和输入属性数据,如用节点、顶点、标签定义地物等。最后,数字化设备精确测量光标位置,从而产生一系列坐标数据。这种方法的优点是所获取的矢量形式的数据在计算机中比较容易处理;缺点是速度慢、效率不高、人工劳动强度大。

通常,数字化后的结构为矢量形式,数字化的数据为坐标点,这些坐标点随后又被连成链。空间的点是单一的,数字化后具有 X-Y 坐标;而对于线而言,当它在直线方向上改变方向或发生弯曲,则具有终点节点、中间顶点。多边形则具有一个单一的起止点节点及中间顶点。

每一特征地物在数字化时或之后都应被赋予一标识其类型的标签或识别码。其中,有

一种标识的方法是在跟踪给定地物时确定它的分类节点号（如杆塔类型）。大多数 GIS 自动地为每一地物分配序列识别码（Identification number, 即 ID）。因此, 至少有一种方法区别每一点、线、多边形。每一地物在数据库中将具有惟一的 ID 号及分类标签。

手扶跟踪数字化有两种基本方式: 流方式和点方式。流方式数字化是通过计算机程序控制让光标以等时间间隔或等距离间隔记录坐标。流方式数字化特点是效率高, 它可以进行批量输入; 缺点是在复杂曲线弯曲地方无论是等时间还是等距离都会产生误差, 这种误差与操作员的经验、熟练程度有关。而点方式数字化能让操作员选择最有利于表现曲线特征并使误差最小的那些点位进行数字化, 但它的缺点是数字化速度慢, 每输入一坐标点位都必须按键通知计算机。

2. 自动数字化

除了手工数字化方法外, 还有自动数字化方法。自动数字化是一种、普遍使用的技术。然而, 这种技术因受多种因素（如费用及有限的识别能力）的影响而还没有成熟。

(1) 滚筒扫描仪。滚筒扫描仪是最好的地图扫描仪, 它包括一个可旋转的滚筒。因此, 与其他扫描仪相比, 它体积大而且价格昂贵。一幅大地形图可在相当短的时间内以很高的精度及质量被数字化。当然, 这些地图大多都是单色的（黑白图像）, 彩色的还存在一些问题。

(2) 视频扫描仪。视频扫描仪价格不像滚筒扫描仪那样昂贵。它工作起来像是一台普通的视频摄像机。它扫描整张地图, 并对其进行栅格化处理。视频扫描仪处理数字化速度很快, 但会出现地物特征识别不准的问题。对于彩色地图, 视频扫描仪使用一系列彩色过滤器并进行多次扫描。视频扫描仪对于单一地图很适用, 但它不是复杂的手工数字化的好的替代品。

(3) 平板扫描仪。平板扫描仪扫描速度快且可提供相当高的质量。然而, 它受页面大小限制, 即地图幅面大小不能超过扫描仪规定的页面尺寸, 并且平板扫描仪扫描后的数据不是真正意义上的地图数据。平板扫描仪对于将文本、制表数据甚至是影像转换成数字格式是比较理想的, 其价格相对低廉。但就总体面言, 平板扫描仪目前不能广泛用于地图数字化。

9.1.2 空间数据质量

确保制图质量的一个决定因素是获取高质量的空间数据。空间数据质量是指空间数据在表达现实空间实体时所能达到的准确性、完整性和一致性。数据质量在 GIS 的建设、应用过程中起着关键作用。数据质量水平不高往往会造成错误的决策、财产的损失甚至是人员的伤亡。因此, 只有了解数据质量之后才能判断数据对某种应用的适宜性。

1. 空间数据质量的基本要素

描述空间数据质量的要素如下:

(1) 精度。精度分为定位精度、属性精度及时间精度。定位精度为空间实体的坐标数据与现实地物实体的真实位置的接近程度; 属性精度为空间实体的属性值与真实地物属性的相符程度; 时间精度为数据的实时性。

(2) 逻辑一致性。逻辑一致性是指数据元素在地理数据关系上的一致程度。

(3) 数据完整性。数据完整性是指数据在类型上和特定空间范围内满足所要求完整的程度。

2. 数据误差来源

在 GIS 中, 数据误差的主要来源如表 9-1 所示。

表 9-1

GIS 空间数据误差

处理阶段	误差源	处理阶段	误差源
数据采集	野外实测误差及地图误差 遥感数据误差	数据操作	分类不明确 多层数据叠加引起的误差
数据输入	操作员观测误差、设备误差 地类界引起的二义性误差 多数据源集成引起的误差	数据输出	比例尺误差 输出设备造成的系统误差 输出媒质不稳定造成的误差
数据存储	计算机字长有限所引起的截断误差及空间 精度不高	数据使用	误解信息所造成的误差 误用信息所造成的误差

9.2 设备设施管理

本节主要介绍静态电力设备设施的管理, 包括对电力设备设施的静态数据(非实时动态数据)进行查询、统计及针对电力行业的特点所进行的高级编辑功能。

9.2.1 配电 GIS 统计功能的设计与实现

应用型 GIS 软件的一个主要功能就是可以通过它所建立的空间数据库对地理要素进行统计输出。而一些 GIS 开发平台如 MapInfo 并不能实现真正意义上的统计功能。例如, 对人口小于 3000 万和大于 3000 万的省份个数进行直方图输出。应用中类似的功能要求是十分普遍的。

1. 电力部门对特定统计功能的要求

(1) 线路统计。

1) 统计供电馈路中以下设备设施的容量/数量/台数: 变压器、开关、杆塔、丝具、避雷器、发电机、“T”接杆、交叉跨越等。

2) 统计全网中以下设备设施的容量/数量/台数: 变压器、开关、杆塔(分类统计)、丝具、避雷器、发电机、“T”接杆、交叉跨越等。

3) 按主线路统计、打印线路名、线路长度、导线型号及支线数量、名称、型号、长度等。

4) 统计主线路数、支线数及总数等。

5) 分别按线路性质(公网、农网、专用)进行统计。

(2) 设备统计。按设备类型统计型号、容量、台数、主要参数。

1) 统计某一馈路变压器的资产编号、型号、容量、阻抗、安装地点、运行状态、生产厂家、额定电流、出厂日期、接线方式、分接头位置、属性(公网或客户)、运行名称、变压器序号等。

2) 统计某一馈路开关的资产编号、开关型号、额定电流、安装地点、运行名称、生产厂家、出厂日期、出厂编号、属性、运行状态、LH 变比等。

3) 统计某一馈路杆塔的杆塔类型、数量、高度。按类型统计(约定类型代码为钢管

杆、水泥杆、铁塔),或直接按类型栏的某一字段(如“钢管杆”)统计;按高度统计(高度有21、18、15、12、10、8m)。

4) 统计某一馈路“T”接数量。电缆\条(“T”接点、“T”接名称)、架空\条(“T”接点、“T”接名称)、主线型号、“T”接电缆及支线型号等。

5) 统计某一馈路设备定级表。包括变压器、开关、线路及污秽区段等。

6) 统计某一馈路交叉跨越的跨越地点、上层名称、下层名称、上层电压、下层电压、实际距离、国家标准、交叉跨越点编号等。

7) 统计某一馈路客户发电机。包括客户名称、客户地址、发电机容量、低压台区变压器、“T”接杆号等。

(3) 输出供电可靠性基本情况统计表。

(4) 输出设备台账(开关、变压器)。包括:资产号、设备铭牌、调换日期、检修日期、使用标志(运行或库存)、运行位置等。

其中,资产台账——按生产厂家分别统计打印(局管、客户);

运行台账——按馈线\容量统计打印;

库存台账——撤消运行者(局管)。

为了解决所基于的GIS开发平台局限性与实现客户特定功能实用性之间的矛盾,采用面向对象编程与ActiveX相结合的技术可弥补开发平台的不足。同时,将类别码引入数据库,可提高统计功能的自动化程度,以下将对这些技术做深入探讨。

2. ActiveX 控件使用

ActiveX是一套使用组件对象模型(Component Object Model, COM)的技术。它允许各个软件在网络环境下相互作用,而不依赖于各开发软件的具体语言。ActiveX技术可用于创建运行在桌面或Internet下的应用程序。

ActiveX控件就是OLE控件和OCX在Internet环境下的扩展。微软已经用ActiveX控件替代OLE控件,ActiveX控件可以用不同的编程语言创建,包括C、C++、VB、VC等。它们也可以通过VBScript, JavaScript控制,因此,任何应用程序都可使用它们。

统计功能所用到的ActiveX控件可采用Delphi中的ChartFX。该控件专用于绘制各种图表,一般与数据库配合使用。它的使用方法是,首先打开对应的数据源及ChartFX的数据通道,规定曲线的条数和每一点的值,最后关闭各数据通道,最终以图形方式显示结果。其图形包括直方图、饼图、面积图、曲线图、二次B样条曲线图、累积直方图等。

MapInfo中的统计功能还不能满足客户提出的统计要求。因此,需要运用ActiveX控件来实现特殊统计功能。

使用时,首先注册选定的ActiveX控件,以备在本系统中引用。在进行统计前先生成一个对象,预先为它开辟内存空间,以便统计过程中运用方法(成员函数)为对象的属性添加统计数据。然后以图形方式(直方图、饼图、面积图等)显示出来,最后销毁对象,释放内存空间,其过程如图9-1所示。

3. 类别码在数据库中的应用

在数据库的统计、查询中,可运用类别码。因为在电力设备这个庞大数据库中,需要

计算机智能地识别出设备设施的类型，自动加以引用或过滤。例如，若统计某主线上变压器的个数，必须让计算机在已打开的数据库中将存有变压器和主线路数据的表识别出来。

为解决以上问题，可在数据库中各表中隐含类别码，以惟一标识各类设备。设备与类别码具体对应关系可如表 9-2 所示。

表 9-2 配电网设备设施数据库类别码定义举例

类别码	设备设施	类别码	设备设施	类别码	设备设施	类别码	设备设施
1	开关	5	变电站	9	发电机	13	开闭所
2	主线路	6	丝具	10	交叉跨越	14	避雷器
3	变压器	7	支线路	11	低压台区	15	断路器
4	杆塔	8	电能表	12	“T”接杆	16	区域图

赋予类别码后，再经过类别码识别算法即可确认其身份。其过程如图 9-2 所示。

4. 统计功能流程分析

根据电力部门对统计功能提出的要求，配电 GIS 的统计主要包括如下三大部分：单项设备统计、多项设备统计和线路统计。单项设备统计是指对单个电力设备的某一指标进行统计。例如，统计高度为 8、10、15m 的杆塔个数；多项设备统计是指统计同一范围中多个电力设备的数量/台数/容量。例如，统计玉五 I 回线上开关和变压器的个数；线路统计是指对多条供电馈路上某一设备的数量/容量进行统计。例如，统计龙功、长寿、中玉、曙光四条线路上变压器的容量分别是多少，从而可根据统计结果分析哪条线路过负荷，为后续决策提供可靠依据。

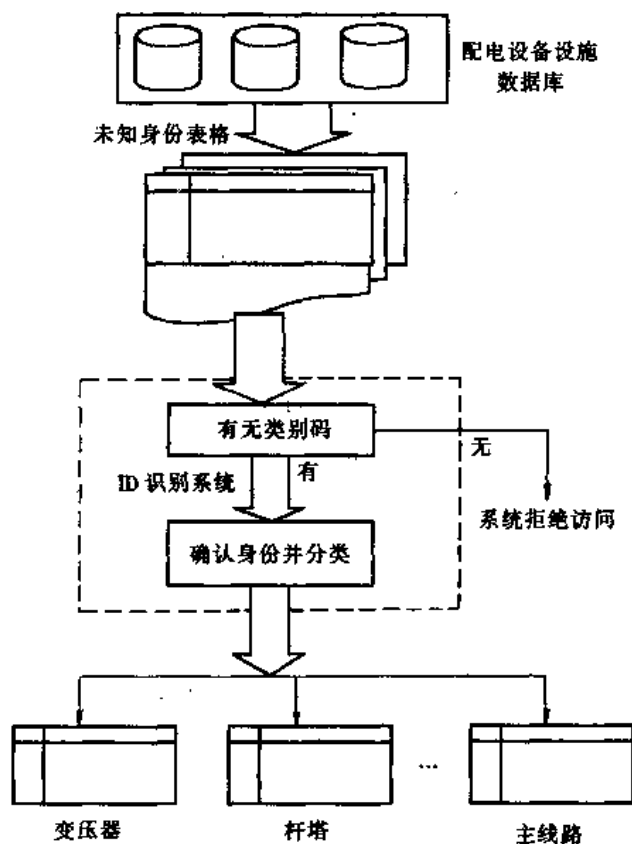


图 9-2 类别码处理流程

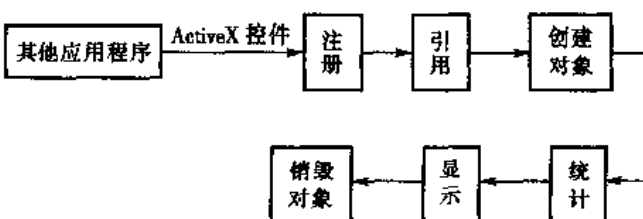


图 9-1 ActiveX 控件使用方法

统计功能的实现分以下几个步骤：

(1) 确定统计对象。

(2) 选定统计范围及满足条件的统计对象。统计范围可以是矩形、圆形、任意多边形或是特定供电馈路。满足条件即满足客户设定的条件表达式（如运行状态 = 库存或生产日期 > 1998.10.9）。

(3) 创建 ChartFX 对象，设置显示图表参数。设置参数包括设置统计图中标注轴（X 轴）、数值轴（Y 轴）的字

体大小及颜色等。

(4) 确定标注轴的列数, 分配内存空间, 并标注每一列。算法如下:

```
Fetch First From Selection
X = 1
Do While EOT (Selection) = "F"
    ChartFX.Legend (X) = Selection.Field (0)
    X = X + 1
    Fetch Next From Selection
Loop
```

(5) 查询数据库, 对每一列标注属性值进行统计, 并将统计个数赋给该列数值轴上, 直到循环至最后一列为止。算法如下:

```
Fetch First From Selection
X = 1
Do While EOT (Selection) = "F"
    Chart FX.Value (X) = 统计值
    X = X + 1
    Fetch Next From Selection
Loop
```

(6) 统计结果输出 (单项设备统计和线路统计为图形输出, 多项设备统计为表格输出)。统计完毕。

其中, Selection 为选中的对象的集合。

9.2.2 配电 GIS 查询功能的设计与实现

查询功能是配电 GIS 面向客户的窗口, 是其他功能模块之间联系的中间环节, 其他模块功能的实现几乎都需要通过查询模块来实现。在数据编辑时, 首先要找到要编辑的对象, 在更新数据时, 要通过查询来实现对哪些范围和哪些数据的更新, 在数据的显示输出时, 先要查询来确定哪些要素需进行显示输出; 在统计时需要查询来确定需统计哪些数据。可见一个 GIS 与客户之间的友好性往往取决于其查询功能的友好性, 查询功能设计的好坏及其能力将直接影响着配电 GIS 的应用程度和应用潜力。因而在配电 GIS 的设计开发中, 查询功能的设计是极其重要的。

1. 查询功能的分类

在常用的 GIS 基础软件平台中, 通常查询功能有两种, 即根据属性条件查询图形 (主要是 SQL 查询) 和根据图形关系查询属性或图形。简言之, 就是有属性查询和空间图形查询两大类。简单地可将 GIS 中的查询功能分为属性查询和空间图形查询两类, 并以此进行查询功能的设计开发。

在 GIS 的实际应用中, 往往会遇到既需要根据空间关系, 又需要根据属性条件的同时查询。以往一般是采用分步查询, 即根据空间关系查询结果后, 再用属性条件进行进一步

的过滤, 这样不能一气呵成, 缺乏灵活性, 因而有必要将属性和图形查询相结合实现更为方便的查询。另外, 查询的对象一般只限图形和属性 (表格形式), 而不能支持多媒体信息 (文本、图像、声音、录像等) 的查询, 所以也缺乏查询的广泛性。

根据配电 GIS 的设计, 针对 GIS 基础软件平台查询功能缺乏灵活性和广泛性的特点, 认为配电 GIS 的查询功能可分为以下几类:

(1) 简单的图形查询。简单的图形查询就是将图上每一物体看作是一个对象, 它可以是点、线、面的任意几何形状或符号 (例如线路可以用直线或折线表示, 配电设备可以用点表示, 用电部门可以用多边形表示), 通过用鼠标点取或图形对象而得到其属性信息 (包括地理属性、表格属性和多媒体信息)。因为配电 GIS 的地理数据库将对象的地理信息和属性信息有机地结合在一起, 在图上找到了对象也就知道了对象的属性信息。

(2) 属性查询。属性查询即根据对象的属性构造查询条件, 并用 SQL 查询方法, 找出满足条件的图形和属性。

(3) 通用双向查询。通用双向查询是简单图形查询和属性查询的结合。双向, 是指具有正向、反向两种查询途径, 从图查询配电设备属性称正向; 反过来, 从设备属性查询图形称为反向。所谓通用, 是指查询工具可以适应不同的查询对象。查询的约束条件可以由使用者方便地设定以适应不同地区不同管理模式的需要。

(4) 多媒体查询。多媒体查询是在其他查询的基础上增加对多媒体信息的获取和显示输出的功能, 即在查询一个空间对象的图形和属性数据的同时, 查询与这个对象相关联的多媒体信息。

(5) 扩展 SQL 查询。扩展 SQL 查询是属性查询 (SQL 查询) 和空间拓扑关系 (地理关系) 查询的结合, 即 SQL 查询的条件中可含有描述地理关系的空间谓词及其操作, 达到属性查询和空间查询的完美结合。

配电 GIS 中查询功能的结构组织如图 9-3 所示。

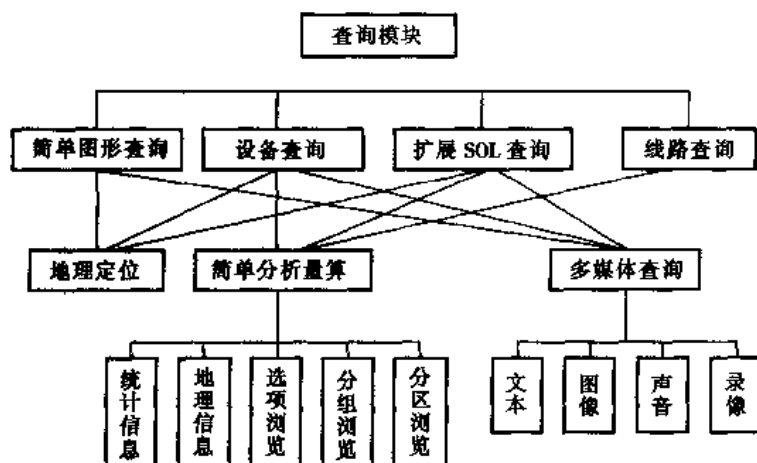


图 9-3 配电 GIS 查询结构组织

2. 通用双向查询功能的实现

(1) 通用双向查询简介。常用的查询分为:

1) 根据所给的属性数据查询具有此属性的空间位置数据,如查询杆塔高度小于 10m 的杆塔。查询时,先在属性数据库中查询,然后利用属性与空间数据的对应或连接关系,进一步查询其所对应的地理空间位置,并按要求输出图形结果。

2) 由空间位置来查询属性信息。在显示屏上直接将光标移到待查询的地理位置上获取与此有关的属性信息,如查询图上杆塔处于哪条主线上。

此外,还有“开窗”查询,即在图上临时划定一个区域(矩形、圆形或任意多边形),查询该区域内的点、线、面所具有的属性,由屏幕显示或打印出来,将这些查询统一起来构成相互结合的查询,就称为通用双向查询。在这类查询中,可以是在查询图形的几何数据的同时,将其对应的属性数据也查询出来,并将其显示在属性数据浏览窗口中;也可以在由属性查询图形时,在图形数据被查询出来的同时,将满足条件的属性数据也显示在属性数据浏览窗口里。

(2) 通用双向查询的实现。通用双向查询是简单图形查询和属性查询的结合,因而其实现包括简单图形查询的实现、属性查询的实现以及两者的耦合实现。

1) 简单图形查询的实现。简单图形查询功能包括以下几项:

- 点选择:用鼠标直接在屏幕上选择图形,其实就是查看鼠标点落在哪个多边形内,在容差范围内距离哪个点、哪条线最近。

- 矩形查询:用鼠标在屏幕图形上画一个矩形,查询落在此矩形内的地物对象。

- 圆形查询:用鼠标在屏幕图形上画一个圆,查询落在此圆内的地物对象。

- 多边形查询:用鼠标在屏幕图形上画一个任意多边形,查询落在此多边形内的地物对象。多边形查询对提取位于不规则形状区域内的某些对象时极为有用。

2) 属性查询的实现。属性查询是根据查询设备的属性构造查询条件,可使用 SQL 查询语句。例如,

MapInfo.do “Select” & 输出属性项 & “From” & 表名 & “Where” & 属性条件式 & “Into” & 新表

含义:使用 MapInfo 的功能查询某个表中满足属性条件式所给定的查询条件的设备(或设施)及其各种属性值,并将查询结果置于一个新表中。

3) 两者的耦合。将以上两种查询方式结合起来使用,实现既能在配电图上操作又可按条件及范围查询。

(3) 地理定位。在配电日常管理中,经常遇到根据对象名称等属性定位的事。例如,工作人员想知道中市线和中心变在哪个地方,对于熟悉配电网分布的供电局工作人员来说找到中市线和中心变并非难事,但是由于屏幕大小的限制,通常显示的只是一个区域,中市线和中心变可能不在显示的区域内,虽然可以通过漫游、放大、缩小等操作寻找,但比较费时。因此在系统的查询功能中应附有地理定位的功能,客户只要用查询界面根据查询条件查询该线路(或设备),系统会自动将所要的线路或设备以适当比例尺定位到屏幕中央,并且突出显示。

(4) 简单的分析量算。经查询得到结果一览表后,可以对结果进行一些简单的分析量算。在查询结果中进行简单的分析量算可认为是查询的进一步深化,是非常必要的,对配

电日常管理有较大意义。系统查询功能中应实现以下简单的分析量算：

1) 简单的统计计算。对查询结果中的数值字段进行简单的统计分析，例如计算查询结果中变压器的容量、杆塔的高度等的最大值、最小值、平均值与总合等统计值。

2) 分组浏览。根据选取分组项对查询结果进行分门别类的显示，例如按杆塔类型分组或按杆塔类型和高度共同分组。

3) 分区浏览。根据选取分区项对查询结果进行归类并附以专题图形式显示，如按杆塔类型分区。

4) 选项浏览。根据选取各种所需的派生项来对查询结果进行分析量算并显示各种所需的派生项，这样一方面可以将对象的地理信息可视化显示，另一方面，也可进行各种运算分析。

3. 扩展 SQL 查询的实现

配电 GIS 中，许多查询均能在简单图形查询和通用双向查询中实现，但对一些比较复杂的查询还无法简单地实现。例如，查询电压为 10kV 的线路中的开关或杆塔，因为在通用双向查询中的条件式无法表达和处理这种隐含了空间关系的条件，自然也就不能实现这类查询。因此有必要实现空间关系和属性数据的联合查询，即扩展 SQL 查询。扩展 SQL 查询必须增加一些描述空间关系的谓词和一些空间操作。

(1) 扩展 SQL 查询中的空间谓词。为了实现 SQL 与空间关系的联合查询，必须先定义有关描述空间关系的空间谓词。这些空间谓词以运算符的形式出现，如：

Contains——包含关系，例如“A Contains B”表示对象 A 包含对象 B 且 B 的中心在 A 的边界内任一点。

Contains Entire——完全包含关系，例如“A Contains Entire B”表示对象 A 完全包含对象 B 且 B 的边界完全位于 A 的边界之内。

Within——被包含关系，例如“A Within B”表示对象 A 位于对象 B 之内且 A 的中心在 B 的边界之内。

Within Entire——完全被包含关系，例如“A Within Entire B”表示对象 A 完全位于对象 B 之内且 A 的边界完全位于 B 的边界之内。

Intersects——相交关系，例如“A Intersects B”表示对象 A 与对象 B 相交且它们至少有一个公共点，或一个完全位于另一个对象之内。

实际上空间对象之间的关系是极其复杂的，在实际应用中定义它们之间的所有关系并没有多大实用价值，只描述一些常用的地理关系的方法即可，当然也可根据需要添加一些其他空间谓词，实现对空间谓词的扩充。

(2) 扩展 SQL 查询的表达。扩展 SQL 查询的一般表示形式类似于 SQL 查询：

SELECT	< 属性字段列表 1 >
FROM	< 当前要查询的表 >
WHERE	< 扩展 SQL 查询条件式 >
GROUPBY	< 属性字段列表 2 >
SORTEDBY	< 属性字段 >

INTO <新表>

其中, <扩展 SQL 查询条件式>、<属性字段列表 2>、<属性字段> 和 <新表> 均为空, <属性字段列表 1> 可用 “*” 表示选取所有字段。

属性字段列表可以使用聚合和函数来派生出各式各样的派生列。如: Max (CentroidX (杆塔.obj))、Sum (变压器容量) 分别表示以杆塔中心点 X 坐标的最大值、变压器容量的和作为属性字段表中的一项。

当前要查询的表的形式为: 表名 1, 表名 2, 表名 3, …

扩展 SQL 查询条件式可以使用运算符 (包括空间谓词)、聚合和函数进行任意语法正确的组合。如: 线路.电压 > 10kV And 线路.obj Intersects 杆塔.obj And 杆塔.高度 < Avg (杆塔.高度) 表示的条件为: 线路电压大于 10kV、与杆塔相交的线路, 并且杆塔高度小于平均高度。

(3) 扩展 SQL 查询的实现。扩展 SQL 查询的实现方法有两种:

1) 在数据库层次上的 SQL 查询条件和空间关系约束条件相结合。这种方法具有较高的查询效率, 但是要求应用程序所支持的数据库系统必须能够支持扩展 SQL 查询结构。

2) 在数据库之外实现 SQL 查询条件与空间关系约束条件相结合。这种查询方法采用的是分步查询。对于 SQL 查询可直接由数据库系统来完成, 而对于空间关系约束条件的查询则在数据库系统之外由应用程序来完成, 再将这两种查询结果相结合形成扩展 SQL 查询的结果。这种方法可直接使用比较成熟的商业数据库系统, 但查询效率较低。

配电 GIS 应支持扩展 SQL 查询, 因此在系统中可采用第一种方法来实现扩展 SQL 查询, 利用 VB 或 VC 构造扩展 SQL 查询的界面, 根据界面中的各项值, 直接调用 MapInfo 的扩展 SQL 查询功能过程来实现。

9.2.3 配电 GIS 特殊编辑功能的设计与实现

配电网的管理对象主要包括变电站、开闭所、线路 (包括电缆)、杆塔、变压器、断路器、隔离开关等设备设施。其地理分布特性一般为:

(1) 点状分布。配电网中的杆塔、变压器等设施都是点状分布的, 它们不考虑实际意义上的面积, 在图上以一个点 (X, Y) 的形式存在。

(2) 线状分布。配电网中的线路 (包括地埋电缆) 属于线状分布, 在图上以直线、圆弧或折线的形式存在。

(3) 面状分布。配电网中的变电站、台区等是面状分布, 在图上以面的形式存在, 因为变电站内部还常可能有开关等设备。

同其他地理信息系统中的空间实体一样, 配电 GIS 中的空间实体 (配电网管理对象) 也是以点、线、面三种形式存在的。但也有特殊之处, 即配电 GIS 中的管理对象之间有几种比较独特的关系:

(1) 挂靠关系。许多电气设备 (点状) 是悬挂在杆塔上的, 如断路器、丝具、避雷器等。在地理图上, 代表这些电气设备的 “点” 是与杆塔 (也是 “点”) 重叠在一起的。

(2) 架设关系。配电网中的线路(除了电缆),无论是主线还是支线总是架设在杆塔上的,而且相邻两杆塔间的线路不会出现拐弯的现象,即使是电缆也经常是与架空线中的端点杆相连的。因而在地图上反映为杆塔点是与线路的节点相重叠的,或者说线路(电缆除外)的拐点(节点)必须是与杆塔重叠的。

(3) 互连关系。配电网中的主线与支线以及支线与其下一级支线间是相互连接在一起的,实际中的状况是由断路器、隔离开关控制连接的。所以在地图上,主线与支线之间、支线与其下一级支线之间是以节点叠压形式来表示连接的。

针对以上行业特性, GIS 的编辑功能除了实现了整形、节点增加、删除、叠压节点等基本功能外,还需设计和实现更有行业针对性的编辑功能,包括杆塔成线、线布杆塔和动态组编辑等。

1. 杆塔成线的设计与实现

架空线总是架设在杆塔上的,即架空线是由杆塔点连接而成的。模拟电力部门架线工程方法(先种杆再架线),可设计一种杆塔成线的编辑功能。杆塔成线,即先在地图上布好杆塔点,再逐一连接杆塔点以生成所需线路。这种方法易于理解和使用,但生成线路的速度相对较慢。

在地图上,点反映为坐标 (X, Y) ,而线路则反映为一系列坐标对 $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_i, Y_i) \cdots (X_n, Y_n)$ 组成的线,因而杆塔成线的实现就是通过逐一获取杆塔点坐标 (X_i, Y_i) , 组成一组坐标对 $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) \cdots (X_i, Y_i) \cdots (X_n, Y_n)$, 根据这组坐标对在指定的线路层生成线路。

2. 线布杆塔的设计与实现

由于杆塔点与线路节点是重叠的,因此可设计一种线布杆塔的编辑功能。线布杆塔,即先在地图上画上所需线路,在需要杆塔点出布好节点(架空线处必须为杆塔),再一次性地生成所需杆塔。这种方法虽然在使用上需要一定的技巧,但生成杆塔点的速度较快。

线布杆塔的实现过程类似于杆塔成线逆过程,即通过获取选定线路的节点坐标 (X_i, Y_i) , 在节点坐标处创建一个点对象到指定的杆塔图层。

3. 动态组编辑的设计与实现

由于许多电气设备是悬挂在杆塔上的,而且线路(除电缆外)也是架设在杆塔上的,因而根据线随杆走(包括悬挂在杆塔上的电气设备),可设计动态组编辑的功能。动态组编辑可将配电网图形中不同层的要素,如杆塔、线路、变压器、断路器、丝具等作为一个动态组,在系统维护时,如杆塔位置变换,只需用鼠标对杆塔进行移动操作,该杆塔上的所有线路和设备同时自动跟随移位,并保持原有拓扑结构不变,对配电 GIS 的编辑与维护十分方便。

动态组编辑涉及到多层对象的同时编辑,这些对象是相互重叠在一起的,可以是点也可以为线。动态组编辑的实现首先要获取所牵引点在原始位置的重叠对象,然后才逐一地将重叠对象移到牵引点新的位置上。对于重叠对象为线的情况,则先判断重叠的节点,再将重叠节点的坐标替换成牵引点的新坐标,并创建新对象来替换该线。

9.3 配电 GIS 中的符号制作

在 GIS 工程建设和软件开发中,所采用的 GIS 开发平台(如 Arc/Info, MapInfo 等)提供的符号往往不能完全满足不同客户的需要。因此,在开发过程中,必然涉及到字体符号文件的存取和扩展问题:如何读取字体符号数据;如何制作特殊符号,以及如何存储所制作的符号等。

本节主要以 MapInfo 的字体符号库结构为例,对 GIS 符号库的扩展所涉及的技术方法进行探讨,并提出符号库自适应扩展的思想,以图更好地满足客户的不同需求。MapInfo 字体符号存取技术在电力 GIS 中得以成功地实现与应用,且该技术方法也同样适用于其他 GIS 应用系统。

9.3.1 总体思想

1. 字体文件数据存取思想

字体文件在 GIS 软件中往往占有重要地位,倘若字体文件在读取过程中结构发生变化,将导致软件无法运行。因此,在对字体文件进行开发时,不能对字体文件直接存取,而是用间接方法对字体文件进行开发,主要有以下两种间接方式:

- (1) 创建字体文件副本。
- (2) 在内存中开辟自由空间,将字体文件读入内存。

由于内存资源有限,而第二种方法占用的内存较第一种方法多,因此,多以第一种方法实现字体文件的存取。其存取算法流程如图 9-4 所示。

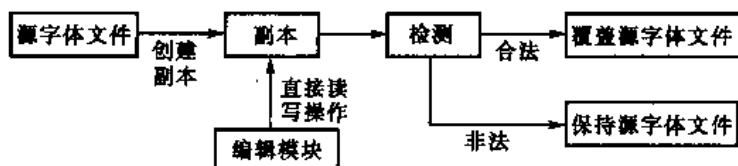


图 9-4 字体文件存取算法流程图

图 9-4 中,为字体文件创建一个副本,然后对此副本进行直接读写操作。处理完毕,对副本文件结构进行检验,合法(即满足字体文件的结构)后,将它覆盖源字体文件。

2. 符号设计模块的功能

一个好的符号设计模块应提供基本的图素功能(如:点、折线、圆、多边形等),客户可以根据自己的需要,用这些图素生成和编辑自己所需的各种符号样式,并添加到符号库中。

具体地讲,它应具有以下功能:

- (1) 可用基本图素与辅助作图工具制作精美的符号。基本图素有:点、线、折线、圆、矩形、多边形等;辅助作图工具包括:色彩、图案填充、合并对象等。
- (2) 可对符号库中任意符号进行编辑修改,并生成新的符号。

(3) 可浏览符号库中所有符号。

(4) 自动添加到符号库。

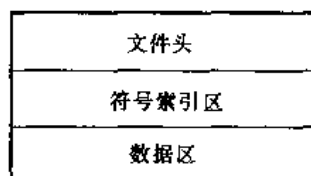
本节将讨论的还包括对符号库的自适应扩展。即在上述四个功能之外，还能进行符号库的自适应编辑、维护及组织。

9.3.2 字体符号文件的结构分析

以下以 MapInfo 字体符号为例，说明如何对符号库进行开发。首先要了解所要编辑的符号库的符号类型与文件结构。MapInfo 存在三种类型符号：位图符号、TrueType 符号和 Symbol 符号。不失一般性，这里仅对 Symbol 类型符号文件（FNT 文件）结构进行分析。

FNT 文件是采用链结构来组织数据的，包括文件头、符号索引区和数据区。其数据结构如图 9-5 所示。

文件首部 32 个字节为文件头，记录了文件的版本号、符号的总数目等信息。文件头前 16 个字节为版本信息，第 32 个字节为文件所存符号的总数。



紧随文件头的是符号索引区，每个符号都在索引区有自己的索引项。每个索引项为 5 个字节，前 4 个字节记录它所对应符号的偏移量，最后一字节为闲置字节。索引区共有（符号总数目 + 1）个索引项，最后一个索引项指向文件末尾，以便在文件尾部扩充新字符。

图 9-5 FNT 文件数据结构图

FNT 文件最后一部分为数据区，存放各种符号的数据。每个符号在数据区的存储单元由该符号索引项获取，符号存储长度（即所占存储空间）为两相邻索引项之差。例如，第一个符号的索引项偏移量为 Offset1，第二个符号的索引项偏移量为 Offset2，则第一个符号存储长度为 Offset2-Offset1。

9.3.3 符号数据的存取算法

1. 符号数据的存储

符号数据的存储主要实现新制作的符号的存入（即符号库扩展）和符号库中特定符号编辑后的再存入。它一般分为三个处理阶段，即：

- (1) 对象转换；
- (2) 存储数据；
- (3) 修改地址及参数。

符号最终是以线段的坐标形式存入计算机中的。符号中若存在非线段对象则先进行对象转换。非线段对象包括圆、折线、矩形、圆角矩形、椭圆等。对于矩形和折线，在折点处将其分解成各个线段；对于圆角矩形，则先将其转换成矩形；对于圆或椭圆，首先以圆心为原点建立直角坐标系，以某一角度（如 30°）为采样宽度，用 12 个节点将圆或椭圆打断，连接相邻节点，即可将圆或椭圆分解为 12 条首尾相接的线段。将它们转换成一组线段后再进行存储。由于每个符号都由一组（X，Y）坐标值顺序存放，因此，每个符号的物理存储单元的个数必须为偶数。符号存储算法流程如图 9-6 所示。

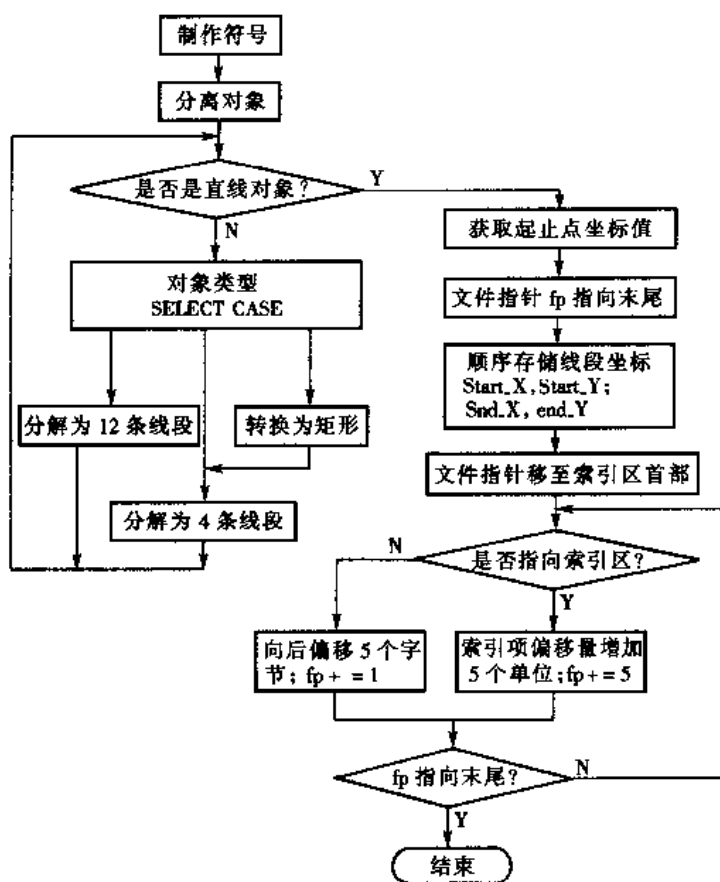


图 9-6 FNT 符号文件存储算法流程图

2. 符号数据的读取

符号数据的读取是存储的逆过程。一般在需要编辑符号库中已有符号的场合，需要进行符号的读取。

符号数据的读取首先选定所要读取的符号，确定所选取的符号在符号文件中的位置（即第几个符号）；其次，将文件指针指向索引区，在 FNT 文件的索引区中找到该符号的索引项，从而获得该符号的偏移量；第三，将文件指针移至下一索引项，获取下一符号的偏移量，进而确定该符号的数据长度；第四，根据该符号的偏移量和长度，将符号数据从数据区中读出；最后，符号的再现。由于任何符号都是以线段起止点坐标形式存储的，因此读出的符号数据为偶数。将这些数据两两配对，组成点的 (X, Y) 坐标对，每相邻坐标对则连成线段，将每一线段按坐标值一一画出，使符号得以再现，以便重新进行编辑。

FNT 符号文件的读取算法流程如图 9-7 所示。

9.3.4 符号制作与扩展的关键技术

运用上述存取技术，可以对 MapInfo 中 Symbol 符号进行编辑、制作、删除等。同时，由于应用中对各种符号的形状、颜色、大小等有不同的要求，必须对符号库的扩展作进一步研究。而自适应扩展技术则可有效地解决这一问题，这也是符号库扩展的关键。

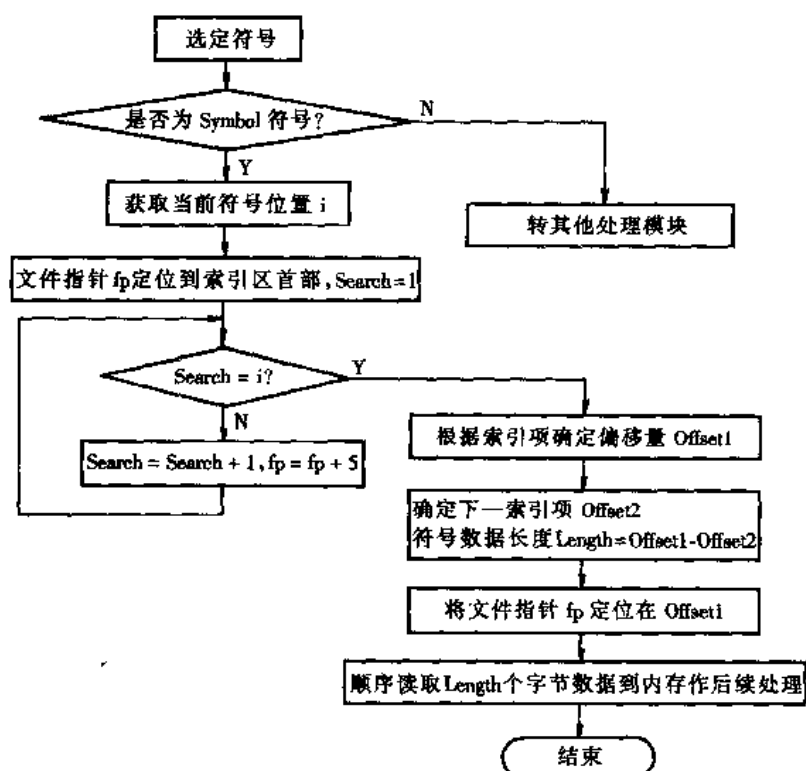


图 9-7 FNT 符号文件的读取算法流程图

1. 符号自适应扩展

符号包括形状、大小、颜色等状态参量，因此符号自适应可分解为符号大小自适应及颜色自适应。符号大小自适应是指符号一旦按某种比例做好，必须适用于各种比例尺地图，而不必对每种比例尺都重复制作一次；符号颜色自适应是指制作的符号既可以拥有固定的颜色也可根据需要随意改变颜色。下面以颜色自适应为例，结合 FNT 字体文件结构谈谈如何实现符号自适应扩展。

FNT 文件中符号数据存放在数据区中，而符号数据包括组成符号的各图素对象的属性数据及地理数据（坐标），其中颜色信息就包含在属性数据中。颜色自适应从微观角度讲，即为组成符号各图素对象的颜色自适应。当对象为线状时，可以选择是否改变线颜色；当对象为面状时，可以选择是否改变区域颜色，相应的自适应模块算法流程如图 9-8 所示。

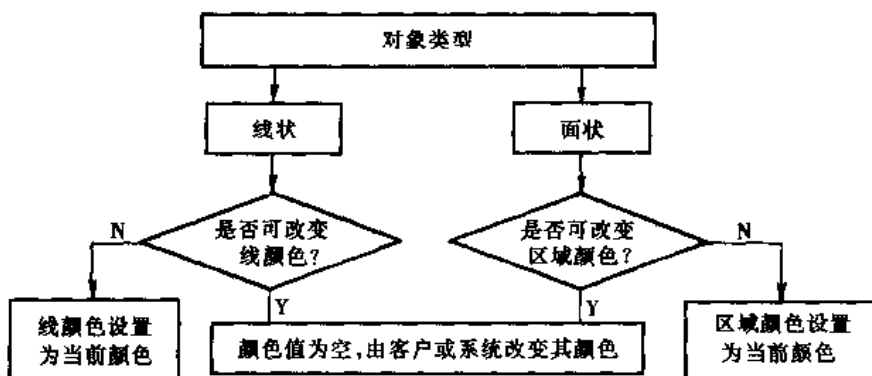


图 9-8 颜色自适应模块流程图

2. 高级编辑

在制作设备符号的通用工具条中只提供了绘制基本图形（圆、多边形、矩形、直线）的功能，它不能满足绘制国标电力设备符号的要求。因此，在编辑符号的功能中应具备一些高级 GIS 编辑功能：如设置目标、合并图形对象、分割图形对象、擦除图形对象等。

有了这些功能，就可以方便地绘制标准电力设备符号。例如，变压器符号由两个圆环和两条短线构成，如图 9-9 所示。

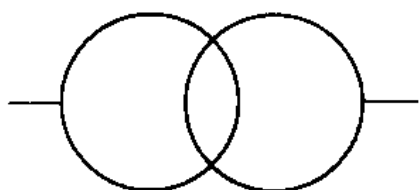


图 9-9 变压器符号

但对于客户变压器和局属变压器要加以区分。电力部门规定：客户变压器在两圆的交会处以黑色填充，局属变压器不填充。因此，在绘制客户变压器符号时应将两圆交会处用黑色填充。但 MapInfo 只能对面状对象进行填充。而上图变压器符号只有两个圆形对象，即只能对两个圆填充颜色，不能对两圆相交的面积填充颜色。

因为，它们交会所得图形不是一个对象。若对其填色，只有沿其边缘拟合一多边形对象，然后对多边形对象填色。此法既复杂，精度又不高，制作出的符号很不美观。

为解决以上问题，可选用分割对象功能。分割对象可以把一个对象按要求分割成多个对象。如果把两个相交的圆形对象分解成如图 9-10 所示三个部分，然后，再对中间部分填色，问题就解决了。

分割对象的步骤是先设置目标。将左圆设置成被分割目标，右圆用来分割目标，然后执行分割功能。这样，两个对象就被分割成三个对象。对中间的对象进行填充即可完成客户变压器的制作，如图 9-11 所示。

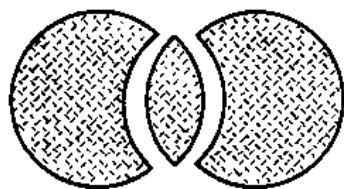


图 9-10 分割对象

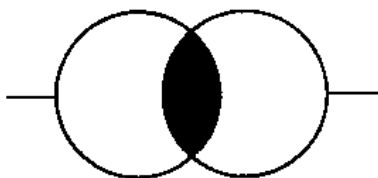


图 9-11 客户变压器图示符号

9.3.5 技术改进

在制作设备符号时存在如下问题：

1. 符号制作较粗糙

制作设备符号采用的是对 MapInfo 中 Symbol 类型符号文件存储技术。因此，受文件存储格式影响，弧与字体不能制作符号，并且圆等非线段对象必须转换成首尾连接的线段对象后才能存储，所以影响了符号制作的精度。

2. 符号功能不强大

受 GIS 开发平台（MapInfo）的影响，Symbol 类型符号不能进行旋转，而电力行业要求设备必须同供电线路的走向一致，这就要求符号能够任意角度旋转。此外，符号还不能随

地图的缩放而缩放,因为符号是以点状地物的形式存在的,而周围地物则是以面状或线状地物存在的。所以,在进行缩放操作时视野发生变化,面积与长度也随之发生变化,而点状地物则不发生变化。

Windows 字体可作为各种 GIS 软件中符号库的共享资源符号,而 TrueType 字形已成为 Windows 的字形描述标准之一,它采用直线和二次 B 样条曲线来描述字符的轮廓,因而若将符号广义扩展为一种字体,就可以解决符号制作粗糙的问题,同时 TrueType 字体可以任意缩放、旋转和变形而不会影响输出质量。

MapInfo 提供了调用 TrueType 文件结构类型符号的接口。若对 TrueType 类型符号进行二次开发,则首先应了解 TrueType 字形数据文件的结构。

TrueType 文件是用树形的表组织起来的,文件首部共 12 个字节,记录了 TTF 文件的版本号、描述表数目,以及描述表快速查找范围、入口选择、范围调整等信息;接着是描述表目录,每个目录项 16 个字节,包括描述表名称(4 个字节)、描述表内容的校验和、描述表的位置偏移值、长度等;最后是各个具体的文件描述表,常用的有 19 个,其中 9 个是可选的表,10 个是必备的。在必备表中,又以“cmap”,“loca”和“glyf”三张表最为重要。这三张表形成了 TrueType 格式的二级字符映射机制。

cmap 表来作为系统内码到字模序号的映射,它由 cmap 表头、cmap 子表描述目录和一系列子表组成。cmap 表头长度为 4 个字节,接下来是 cmap 子表描述目录,共有 cmap-tables 个目录入口,每个目录项长度为 8 个字节。cmap 表使得 TTF 字体文件可以在不同的平台和译码体系下使用,Platform_ID 代码的值一般为 3 和 1,分别代表 Microsoft 平台和 Macintosh 平台,它们使用不同的字符集和编码方法。

loca 表给出每个字的轮廓描述信息在 glyf 表中的偏移位置和长度。它有两种格式,由 head 表中的 indexToLocFormat 值决定。

glyf 表存放所有的轮廓描述信息,包括数据信息和指令信息。简单字模和复合字模的描述方法不同。简单字模在此表中存放的是一系列的线和轮廓点的坐标以及作用于次简单字模的指令信息;复合字模在此表存放构成复合字模的简单字模序号和作用于复合字模的指令信息。

当客户使用 TTF 汉字时,只需给出该汉字的内码,TTF 解释器通过查找 cmap 表得到该汉字在 loca 表中的文字序号,再从 loca 表中获得对应汉字轮廓数据的存放地址。有些双字节代码不对应任何汉字,则 cmap 表将它们统统映射为 loca 表中的序号 0,称为丢失字符,其对应轮廓数据往往解释出来是空心方框。

采用二级映射机制是 TrueType 技术的特色之一,它为不同应用对 TTF 文件的修改提供了操作独立性和灵活性。

9.4 配电 GIS 中的综合信息浏览



综合信息浏览提供了一种全面、简捷的信息浏览方式。它把与配电网相关的设备设施信息按层次方法进行组织,并提供相应的浏览手段,以便快捷、准确地查看到分层状况、

图形形态、地理信息以及各层图形的属性信息等,可使客户对配电网信息有一个整体认识。

9.4.1 数据分层结构

配电 GIS 中的各种数据应是按不同设备设施的属性进行分类表示、分层组织的。从层次观点出发,它们既可以按不同的数据类型进行组织(即分层组织),又能够按数据结构的不同进行组织(如栅格数据结构、矢量数据结构),或者基于地物特征进行组织(如点状地物、线状地物、面状地物等)。广义上讲,配电 GIS 的每种数据都处于特定层次上,并具有特定含义。例如,基础地形图、道路图、设备分布图、设备统计图、设备照片、设备结构图、跨越图、馈线布置图(走径图)以及所有相关的属性数据和实时数据等。分层表示虽然导致各类数据间的相互关系比较复杂,但结构十分清晰,便于理解整个系统的数据构成和组织方式。如配电网中断路器所涉及的分层数据结构图可用图 9-12 表示。

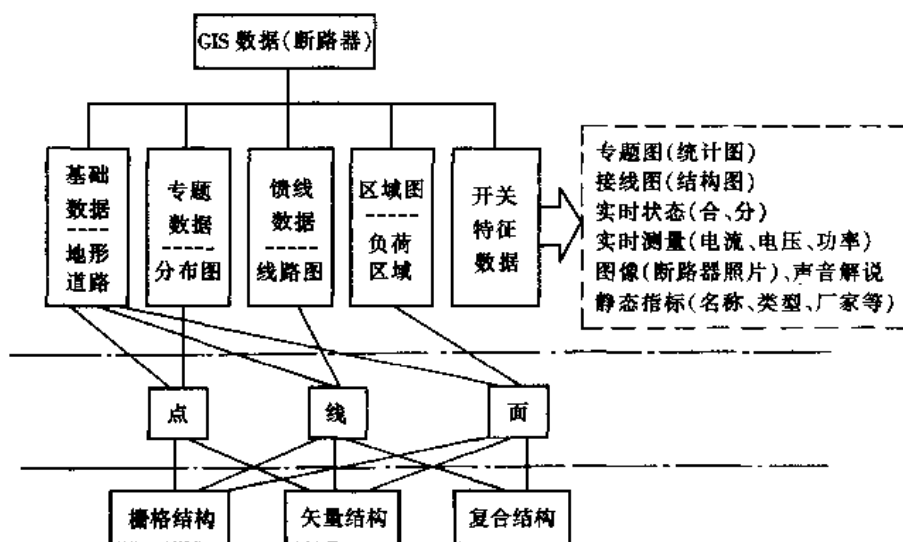


图 9-12 数据分层结构示意图(以开关为例)

其中,上半部为分层数据种类,中部为地物包含的几何特征,下半部为地物的数据结构。可以看出,不同实体分层数据的种类和所涉及的相关数据种类是不一样的,而每种数据的地物特征及其结构组成也可能不同。

9.4.2 信息浏览方法

配电 GIS 中的信息浏览可以是一个专用功能部件,它与查询、统计、空间分析等基本功能部件相集成,构成能完成基本处理功能和高级空间分析功能的应用软件体系。而信息浏览部件不仅是系统的重要组成部分,还是其他功能处理结果的表达手段和客观要求,也是信息发布的重要途径。通过浏览配电 GIS 中各层实体的基本数据可以迅速了解该层的信息全貌。由于配电 GIS 数据内涵的丰富性和结构复杂性以及形式的不定性,在不同的配电 GIS 应用软件中,难以用一种通用的浏览方式实现各类数据的快速、简便地调阅和查询,

正如不能采用一种数据结构来组织各不相同的数据一样,为此提出了信息树概念。它是在建立 GIS 数据本身的分层特征基础上,用树状结构形式对各层信息进行分层浏览或综合图形浏览的一种技术,每层数据的数据结构被隐藏在树节点内部,因此可以处理任何结构形式的地理信息或其他相关联的信息(如图片、结构图、接线图、实时信息、流程图、专题图等)。

图 9-13 描述了信息树的总体结构组织形式。

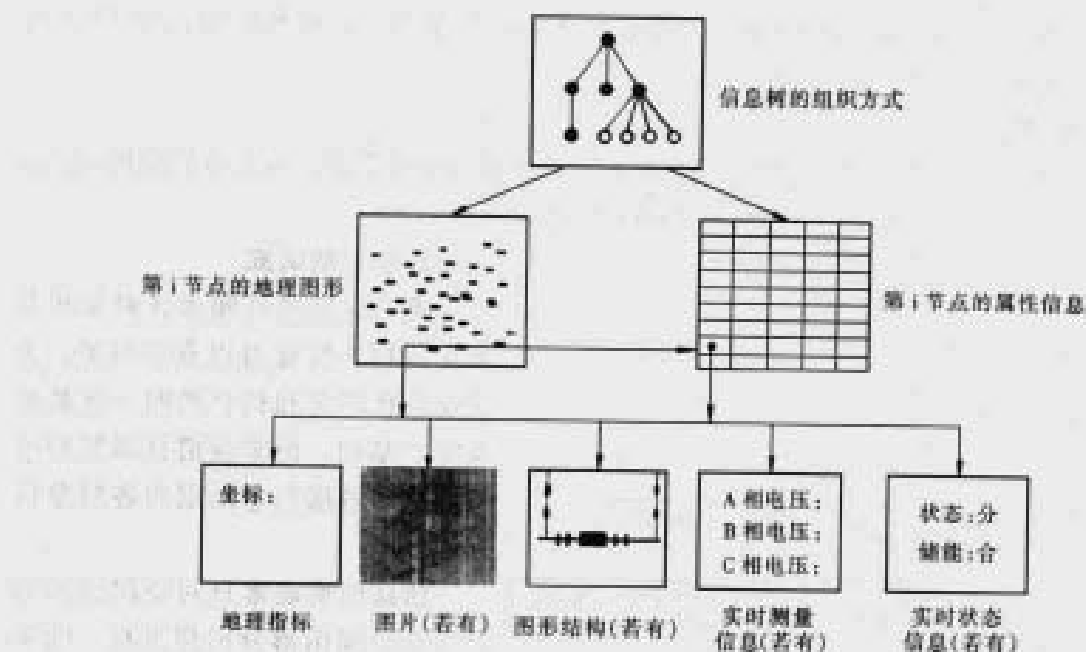


图 9-13 信息树的组织形式

树中的叶节点代表特定的图层,而内节点则代表其所有子节点的综合图层。查看非空间信息一般针对叶节点进行,查看图层(包括叠加的图层)则由内节点实现。对叶节点而言,除了可以浏览相应的空间信息,还可以浏览到各种非空间信息,进而查看该层的单要素信息。

1. 信息树的定义与描述

在信息树中,至少包含三层结构。

(1) 根层。反映所有图层的综合图形信息。由于各图层的非空间信息的结构各异,在根层不宜反映非空间信息。其形式化定义为

$$\text{RootNode} = \{ \text{Map}_i | i = 1, n \}$$

其中, n 为当前已有的最大图幅个数。

(2) 空间图形层。反映特定图层的整体信息,包括空间和非空间信息。其形式化定义为

$$\text{SubNode}_i = \{ \text{Layer}_j | j = 1, m \}$$

其中, SubNode_i 为 Map_i 对应的子节点。 m 为 Map_i 所含的不同类别的空间图层和非空间信息分层数。

(3) 空间图形分层。对于组成要素类型不惟一的空间图形层，根据要素的类型进一步分层，使得每层的要素类型归一。这里考虑的要素类型是在点、线、面的基础上根据要素（地理实体）的特征细化而产生的十种类型：点状对象、直线对象、折线对象、区域对象、文本对象、弧状对象、椭圆对象、框架对象、圆角矩形对象、矩形对象。其形式化定义为

$$\text{Layer}_j = \{\text{Node}_k | k = 1, p\}$$

其中， Node_k 为 Layer_j 所包含的不同类型的图形对象节点。 p 为当前图层的图形对象最大个数。根据实际情况， $p = 10$ 。

2. 信息树的建立

算法描述：信息树的建立实质上是提取图层及其构成要素信息，并按分层结构以树的形式重新组织。图 9-14 描述了建立信息树的算法流程。

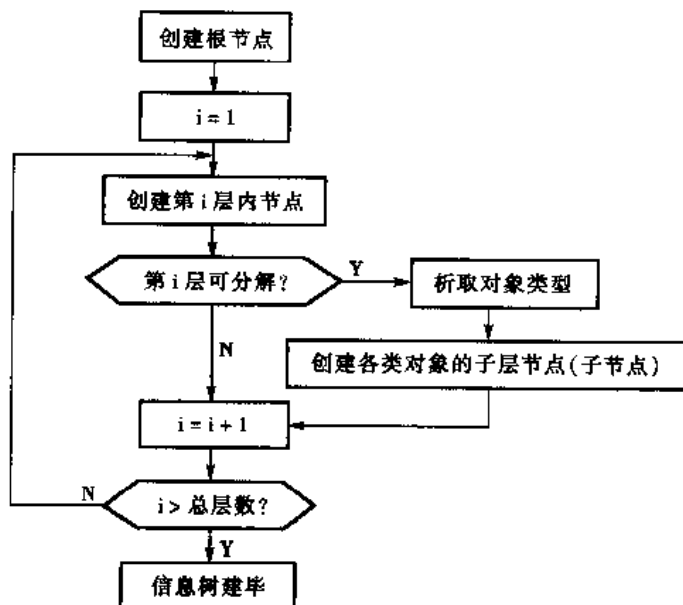


图 9-14 信息树的建立

3. 信息的浏览

建立信息树可确保各对象按其本身的数据特征得以重新归类，为实现信息浏览和信息的归一化处理奠定了基础。而实现信息浏览则可直接展现各层信息及层内各对象信息。

信息浏览通常只对空间图形综合层和空间图形分层层进行。图 9-15 为信息浏览的算法流程。

4. 信息树的应用

图 9-16 所示为信息树应用的一个实例。

图中表示，当前共调入两幅图形，分别是变电站层和主线路层。

主线路层含有直线和折线两种不同类型的地物。当选择了折线地物时，可以查看到该类别地物的属性和图形信息。进一步，可以查看到某条折线（如图中的“玉市 2 回”线）的地理指标，包括该折线的坐标范围、中心点坐标、线长度以及折线的分段数等。

由于信息树是一个相对独立的功能部件，而且在实际中又具通用性，因此可以借助于现代编程技术和部件对象模型的技术规范，方便地构建出信息树控件，为各种配电 GIS 应用程序所用。

作为一个功能部件，信息树可与其他基本功能部件一起被有效地集成在系统中，构成有机整体。这种方法具有非常重要的应用价值。第一，可以直观、方便地了解配电 GIS 中各类信息的组织结构和内部特征；第二，反映了配电 GIS 数据本身特性；第三，在信息树的基础上增加一些辅助功能，可以发现并解决配电 GIS 数据存在的问题（如多边形不闭合）；第四，可以方便地按地物类别将其从综合图层中分离出来，以构造种类单一、符合

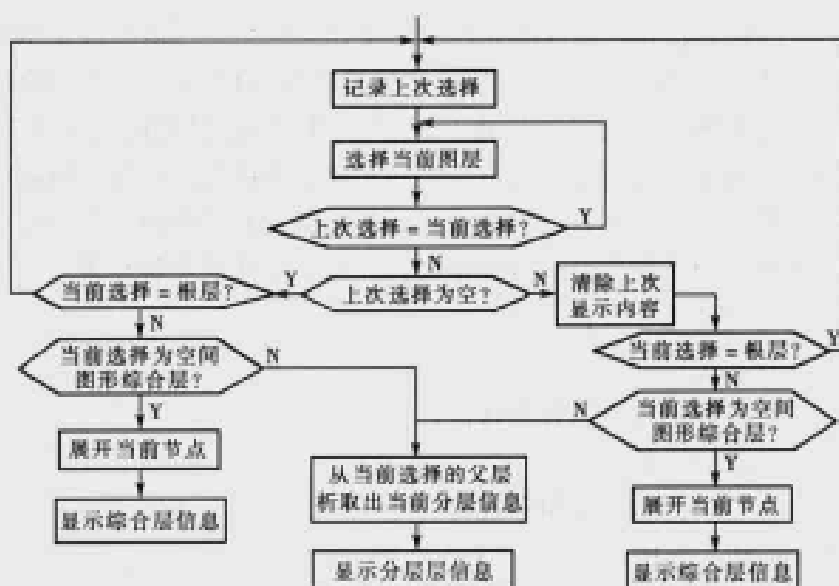


图 9-15 信息浏览流程

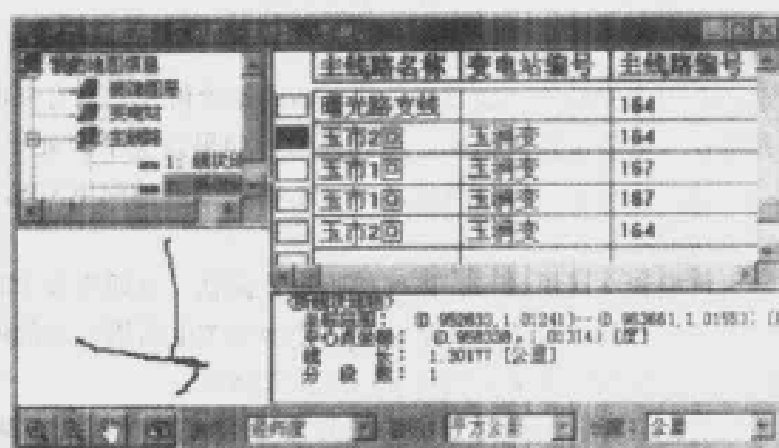


图 9-16 信息树的应用

配电 GIS 信息处理的各个图层；第五，构造成专用功能部件，按功能集成模式加入任一配电 GIS 中，可以满足配电 GIS 的普遍要求。

9.5 与客户故障报修系统联动

随着城市经济的快速发展，各行各业对供电企业的供电质量、供电可靠性提出的要求越来越高。故障处理的快慢及停电期间对客户质询的答复，是供电部门服务的重要内容，因此客户故障报修管理是配电自动化系统中的主要内容，在电话通信已经普及的情况下，尤其如此。为了更好地服务于广大用电客户，必须在客户的故障处理请求响应速度、各种突发事件处理能力等方面提供切实有效的保证，建立故障报修系统是提高故障应急能力的有效技术途径，这也是关乎企业声誉、衡量企业综合实力的具体表现。故障报修系统与配

电 GIS 的联动又可以保证将客户的故障处理请求及处理情况直观地反映在 GIS 上,使指挥人员能够迅速判断故障地点和范围,及时了解故障产生原因和台区客户的有关信息,准确、快速地制定抢修方案。然后将决定送达工作管理程序,必要时还可查询备品备件状况。工作管理程序启动后,就会派出人员,调动车辆,并根据操作票的内容携带必要的工具和备品备件去处理事故。一个好的停电处理功能能够在有关的控制室显示处理过程。与此同时,还会把处理过程中的重要信息和结果送入投诉电话的应答装置。

故障报修系统的功能主要有:

- (1) 电话接拨自动化;
- (2) 人工、自动两种工作方式自由切换;
- (3) 故障报修、故障定位分析;
- (4) 抢修工作票自动传递、打印和查询统计;
- (5) 与配电 GIS 动态连接;
- (6) 报警记录、故障处理与反馈、查询与分类统计、辅助决策管理;
- (7) 各分区信息的检测与维护。

故障报修系统的上述功能可归结为下述三方面内容。

1. 智能接报警平台

处于在线状态的专用工作站不断地监听外线电话的振铃信号。当有来电时,系统自动对其进行处理,并将存入电话信息数据库。与此同时,如果报警平台处于自动接警状态,系统将自动录音。从智能接报警平台获得信息后,系统就会启动配电 GIS,检索有关数据库,进行故障的分析和处理。

在专用工作站内可配置电话语音卡,以便接听报警信息。电话语音卡有内存地址设置和中断两种要求。为了不与其他硬件设备冲突,还必须参考电话语音卡的说明书,一般可使用出厂时的缺省设定。若发生冲突,则可按以下步骤修正:

(1) 内存地址设定:语音卡出厂时地址的缺省值一般为 D000,可以通过语音卡上的跳线进行调整,并在 CMOS 的 Setup 中将该地址段设置为非使能 (Disable)。

(2) 中断设定:语音卡出厂时的缺省值一般为 IRQ5,也可以通过语音卡上的跳线调整,或更改其他硬件的中断。

2. 综合信息管理

综合信息管理主要是建立报警记录数据库、事故记录数据库,完成记录查询、分类统计、任务处理与反馈、录音重放、系统维护等多种功能;提供多种数据显示方式(如饼图、直方图等),以方便指挥人员定期进行分类统计,对故障多发区加强防范,最大限度地减少损失;对整个系统提供安全性维护,以保证检修工作的严肃性和严密性。

下面简要说明一下综合信息管理的主要功能:

(1) 报警记录维护:在人工值班状态下,值班人员可手工将报警信息添加至报警记录数据库;在自动值班状态下,可自动接听电话报警,记录相应的信息,并自动通过电话呼叫的方式将报警信息向领导汇报。

(2) 报警记录查询:按照输入的日期和故障类型代码条件对报警信息进行查询,并将

查询结果以饼图、直方图或者数据记录等多种形式显示出来。

(3) 分区库及故障库维护：对分区信息和故障信息进行维护和设置，实现添加、删除和修改信息等编辑功能。

(4) 设置值班领导信息：如领导姓名、电话、值班日期等资料。

(5) 客户设置：设置数据库文件名称、语音卡通道口、报警记录输出和输入 (CSV) 文件名称，还可以完成对数据库的压缩工作。

(6) 口令设置：对值班人员的相关信息进行设置。

(7) 连接配电地理信息系统：直接与配电 GIS 连接，可在配电 GIS 中显示各种故障信息，并进行适当的分析处理。

3. 与 GIS 联动

故障报修系统工作站得到主叫号码并得到电话装机地址、分区代码等相关信息后，将上述信息发送到 GIS 工作站，GIS 根据这些信息在相应的区域报警提示，同时将故障区域弹至显示器中央位置。通过地理背景及供电设施的多层叠加显示及无级缩放功能，能准确快捷地了解故障地区的建筑物分布、街道走向、线路走径、负荷分布、用电客户、用电性质以及其他和故障报修有关的辅助信息。根据故障区域的显示颜色可快速判断出发生故障的原因，从而为检修、抢修提供有价值的信息。例如，制定检、抢修方案，确定到达事故现场的最佳路线等。同时，若区域所在的变压器发生断电或少一相电，也可立即显示出对应区域的故障颜色，以便分析和检修。

对故障区域着色是一个基本要求。根据实际情况，大致有以下几种故障：

- (1) 断电；
- (2) 欠压；
- (3) 过压；
- (4) 少一相电；

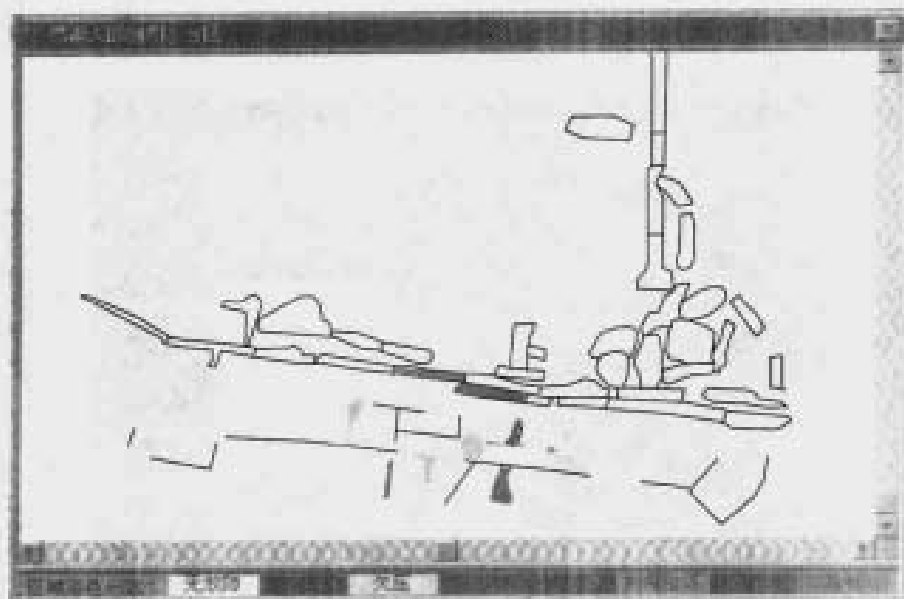


图 9-17 故障区显示

(5) 外保险坏;

(6) 电压不稳;

(7) 其他。

对上述每种故障,预设不同的颜色,当某种故障发生时,可以根据预设的颜色对故障区域着色,从而快速了解故障原因和故障区域客户信息。在此基础上,通过叠加各种地理背景图和配电设备设施图,可进一步查看故障区的线路和设备情况,确定最佳检修路线,为快速恢复供电提供可靠保证。

图 9-17 所示为台区图的故障区显示示意图,为清楚起见,未叠加其他图层。

9.6 实时信息可视化处理



在地理背景图上显示由 SCADA 采集的信息(如遥测、通信值)是配电 GIS 的主要功能之一。

实时系统联动主要涉及与配电 SCADA 和区域故障报修系统的联动。在进行联动时需要设置各站点的实时参数和有关选项。

9.6.1 设置实时参数

主要对各个设备(如断路器、变压器等)相关的站点(遥测点、通信点)参数进行设置,包括输入、编辑和修改。在设置内容上主要包括对应的遥测点、通信点在图上显示的文本格式、显示项目,以及选定项目出现故障时文本的显示色、设备显示色等。在一个实用的实时系统联动模块中,实时参数的设置方法如下:

(1) 在图上选定单个设备(如某个断路器)。若已与 SCADA 服务器连接,应予断开。

(2) 设置实时参数。如图 9-18 所示的界面。

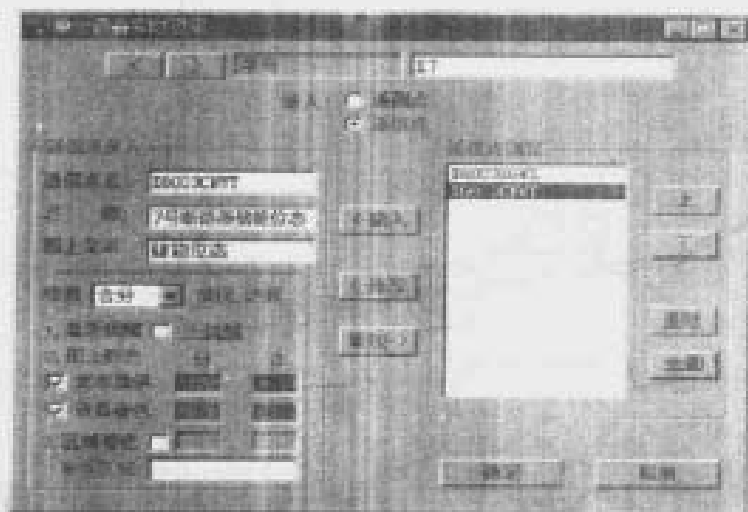


图 9-18 设置实时参数

(3) 在该界面内可完成所有遥测、遥信点的实时参数的设置。

其中，“<”或“>”按钮主要用于查看选定设备的有关情况，以确认所选设备是否正确。另外，可以选择根据合分、跳闸、估计、人工、检修、无效、老数据、上锁等几种情况进行监测，图 9-18 中显示的选择了“合分”。

对于遥测点的参数设置，除了与遥信点的相同部分外，还需要对所监测的数值进行显示格式的设定。

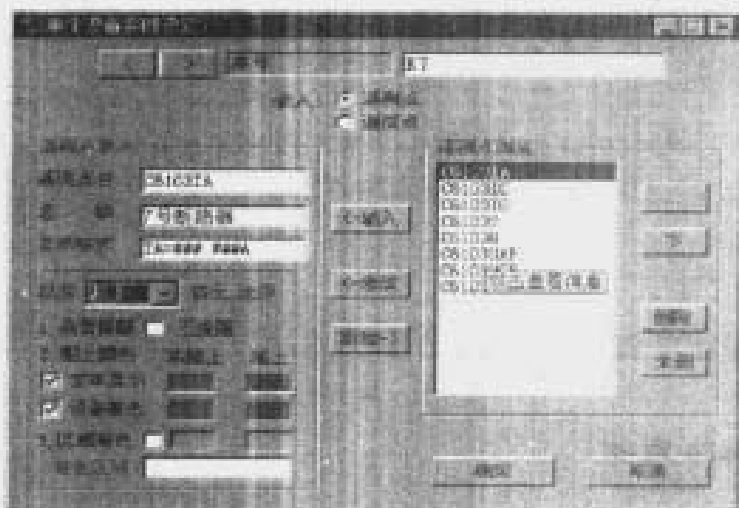


图 9-19 设置遥测点参数

遥测点显示格式可采用“文本+数值”的形式，其中数值形式以相应的“#”形式代替。在图 9-19 所示的遥测点编辑示意图中，断路器“K7”的 A 相电流显示格式设为“IA = # # # . # # # A”，则如果实际测得电流值为 120.12587 A，图上将显示出“IA = 120.126A”。

9.6.2 与配电 SCADA 联动

实时系统联动要获得所需的遥测和遥信数据，只有与配电 SCADA 连接才能实现。所谓联动，最主要的是在实时系统里设置配电 SCADA 的各项参数，包括配电 SCADA 的服务器名称、IP 地址、端口等项内容。只有上述参数的值正确，才能获取服务器 SCADA 的信息。图 9-20 所示为一个参考的服务器参数设置界面。

在正确地设置好服务器参数后，可以时刻获得来自配电 SCADA 的遥测和遥信数据，并根据采样周期的时间间隔，将采样数据反映在配电 GIS 的可视化界面中。一般，在一个应用系统中，需要反映出四种与设备相关的实时值：越上限点设备、越下限



图 9-20 服务器参数设置

点设备、故障点设备和无效点设备。图 9-21 所示为遥测点值越上限时的显示示意图。

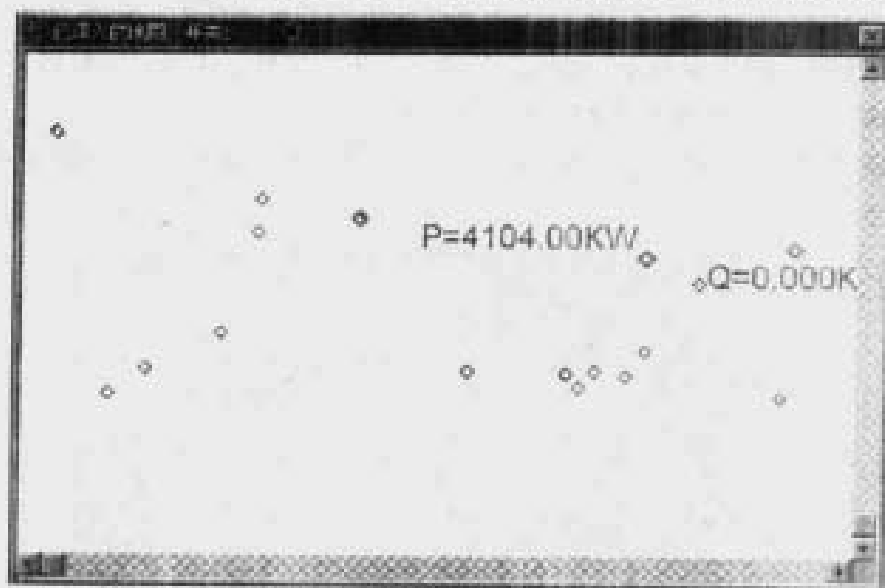


图 9-21 越上限显示

9.6.3 线路监视

线路监视是指通过配电 GIS 来监测线路的带电和失电状况。由于断路器连接在线路上，任意一段线路都可能因其两端的断路器问题而失电。只有两端断路器全部合上，该段线路才可能有电。但在 GIS 里，一条线路是作为一个空间实体而存在的，要获得其每段线路的带电和失电状况，必须对线路进行一些预处理工作。主要方法如下：

(1) 根据断路器的分布对线路进行分段，两个相邻断路器之间的线路为一段。例如，一条线路上连接了 10 个断路器，则该线路可分为 9 段。

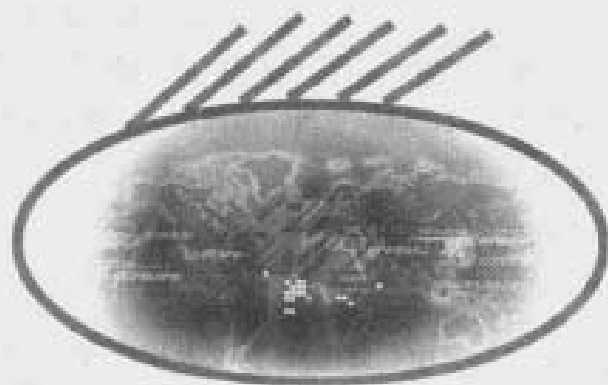
(2) 在线路数据库结构中增加“起始断路器”和“终止断路器”两个字段项，如图 9-22 中的灰色显示部分。

(3) 在属性数据库的每条记录中填入正确的起始断路器序号和终止断路器序号。如上图中的“K2”、“K12”；“K7”、“K9”等。

经过以上预处理后，便建立了线路和各个断路器的一种内在联系。通过断路器的合分状态以及断路器两侧的电流情况，可以方便地判断出所连线路是否带电。

	最大档距	最小档距	起始断路器	终止断路器
<input type="checkbox"/>	0	0	K2	K12
<input type="checkbox"/>	55	45	K7	K9
<input type="checkbox"/>	0	0	K8	K7
<input type="checkbox"/>	0	0	K10	K2
<input type="checkbox"/>	0	0	K11	K10
<input type="checkbox"/>	55	45	K13	K11

图 9-22 “主线路”数据结构示意图



10

电力地理信息 系统开发策略

10.1 一把手原则

组织机构是电力 GIS 建设有组织、有秩序地顺利实施的重要基础和保证。必须建立一个具有权威性和协调能力、层次结构合理的指挥和组织实施机构。

(1) 成立专门的电力 GIS 建设委员会(领导小组),负责制定电力 GIS 建设战略规划,审定总体设计方案和工程实施方案,全面协调建设工作。其组成应包括单位主要领导、部门领导和有关专家,由单位一把手任领导小组组长。

(2) 在电力 GIS 建设委员会的领导下设立各组织实施机构(工作小组),工作小组由单位各部门的业务骨干、电力系统的专家及 GIS 专家若干组成,总工程师任工作小组组长,工作小组负责项目实施。具体可分为:

1) 总体设计组。负责调查和论证总体设计方案,确定电力 GIS 技术选型,制定电力 GIS 工程实施方案等。其组成人员应是有经验的专家、技术人员和管理人员。

2) 技术实施组。配合总体设计组进行技术选型,拟制技术报告,负责电力 GIS 各类应用系统的研制、开发和调试、运行,负责电力 GIS 客户的技术培训。

3) 保障服务组。负责电力 GIS 建设经费的落实,场地、设备的保障等。

(3) 鉴于初期建设完成后还有开发应用、运行管理、使用维护等长期任务,因而在系统建设开始,就应规划一个建制单位,即电力 GIS 管理中心,使其在人力及技术水平上确保能支持电力 GIS 的管理维护和正常运转。

单位各分支机构(如分局)也应当分别成立领导小组和工作小组,以加强领导和做好组织协调工作。

为确保系统建设工作按时保质保量的完成,建设领导小组和工作小组要各施其责,在系统方案设计时,邀请有关单位进行 GIS 演示,组织各级领导和工程技术人员对系统实施方案充分开展讨论,收集、整理和吸纳各方面的意见,最后形成切实可行的系统建设的总

体方案和项目实施方案。在系统建设期间,要定期召开领导小组和工作小组会议,检查工作进度,解决有关问题。定期召集有关人员专门研究解决工程实施过程中的各种问题。总之,单位上下对系统的建设要有充分的认识,领导重视,组织得当,措施落实,保证系统建设的顺利进行。

10.2 统筹规划、分步实施



电力 GIS 的开发,涉及到输电、变电、配电(高、中、低压)、调度及用电营业、报装等运行和管理的方方面面,并且具有投入大、周期长、技术含量高的特点。为保证系统达到预期的目的,系统的建设应遵循统筹规划、分步实施的原则。

(1) 要通盘考虑本电力系统行业对供电的可靠性、电能质量、工作效率和优质服务各个方面的现状,提出相应的要求。要通过电力 GIS 的开发,使电力企业进一步加快信息化建设进程,改造企业生产、管理和经营方式,使现有入力、物力和财力得到充分、合理、有效的利用。要明确传统 GIS 与电力 GIS 的区别、电力 GIS 软件平台应具备的基本功能、电力 GIS 与电力 MIS 的关系、在电力 GIS 建设中如何进行资源配置才能保证系统的实用化运行等问题。

(2) 要尽可能地采用先进、实用、成熟的商品化的电力 GIS 软件。满足目标要求的电力 GIS,涉及图形处理、数据库、通信和网络等众多复杂技术,一定要避免低水平重复劳动,要有高起点,选择市场上先进、成熟的电力 GIS 相关产品。选择电力 GIS 产品的标准是技术先进、满足应用要求、有开放性,特别是有成功的应用实例的成熟软件。

(3) 要重点抓总体设计。总体设计是电力 GIS 建设的总体思路和工程蓝图,是搞好电力 GIS 建设的核心任务。进行电力 GIS 总体设计,首先是进行对象研究和需求调查,弄清项目的性质、任务和改革发展的特点,对电力 GIS 环境进行准确描述,明确系统建设的需求和条件;其次,在应用需求分析的基础上,确定服务类型,进而确定系统建设的具体目标,包括软件、硬件设施、开发应用和管理等方面的目标;第三是确定系统功能,根据应用需求、建设目标,进行系统分析和设计;第四,确定技术设计的原则要求,如在技术选型、设备选择、软件配置等方面的标准和要求;第五,规划安排电力 GIS 建设的实施步骤。所规划的总体设计方案应满足以下基本要求:

1) 整体规划安排。从电力系统建设的全局和全面工作需要出发,整体规划电力 GIS 建设方案,对系统的目标、总体结构、服务功能、经费预算、建设步骤等重大问题作出规定。

2) 先进性、开放性和标准化相结合。尽量采用符合国际工业标准的、比较成熟的技术,兼顾电力 GIS 技术的发展方向,选择结构化、可扩充、多用途的电力 GIS 产品,保证所开发的电力 GIS 在较长时间内不落后。

3) 结构合理。在资源配置、系统服务和管理上有良好的分层设计,使系统结构清晰,便于使用、管理和维护。

4) 高效实用。着眼于电力生产、管理的实际需要,用有限的资金优先解决工作急需

的问题。

(4) 电力 GIS 建设是一项庞大、复杂的系统过程，必须有步骤、分阶段实施，要按照软件工程和企 业 MIS 建设的阶段划分方法进行。即：初始阶段（报表统计、计算）、扩展阶段（应用种类增加）、控制阶段（开始对系统使用实行控制，做出规划，首先用好现有设备）、统一阶段（统一的数据技术、统一的处理标准，做到资源共享）、数据管理阶段（整个机构的数据能够进行统一的规划和应用）、成熟阶段（真正地把计算机同整个电力管理过程结合起来，真正地把机构内部和外部的数据资源很好地规划利用，为机构的管理和决策服务）。

10.3 以效益为中心



在电力 GIS 的开发过程中，必须始终坚持以效益为中心的根本目标。电力 GIS 实现了地理信息和设备，以及图形和数据的集成化管理，使人们能够在直观的图形界面上对地理分布的配电网设备设施进行一致性管理和充分、完整的信息交流。电力 GIS 在国内外的成功应用，使整个传统电力系统的运行、维护和管理达到了新的高度，是一个极具潜力的电力系统管理现代化手段。这一系统的应用，对于中国的供电企业来说，不但意味着电网管理效率的提高，更重要的是，它将促进和优化电网运行的组织和管理，形成全新的、信息化的、高效的现代电力系统运行管理机制。

因此，在开发电力 GIS 时，要讲求经济效益，考虑投资回报。如：电力 GIS 建设要与配电网改造同步，要在系统的建设过程中，分阶段实施，完成一部分，应用一部分，边开发系统，边逐步发挥效益，提高配电网规划和配电网设计的效率和水平。同时要注重电力 GIS 在改变观念、提高信息化意识和管理水平等方面的社会效益，以及防止重大电力灾害等方面的生态效益。

10.4 培养自主技术力量



在电力 GIS 的开发过程中，必须培养、建立一支自主的电力 GIS 技术力量。

所谓自主的电力 GIS 技术力量建设包括电力 GIS 技术本身和 GIS 专业人才培养两个方面。

关于电力 GIS 技术本身，电力 GIS 需要国产化、本地化技术。要增强应用单位对电力 GIS 应用技术的充分了解，破除对国外 GIS 软件的迷信思想，从观念上深刻认识到国产电力 GIS 软件与国内电力应用技术密切结合，将达到甚至超过国外同类系统所具有的应用水平。同时意识到在城乡电网建设与改造工程中应用国产电力 GIS 软件，开发适合中国国情的电力 GIS 应用系统，恰恰是我国电力系统在生产经营管理方面赶超国际水平的机遇所在。要积极促进建立健全“应用需求牵引技术创新，技术发展推动应用前进”的“互动创新发展机制”。

电力 GIS 是一种直接融入现代电力生产经营活动之中的、全新的生产经营信息数字化

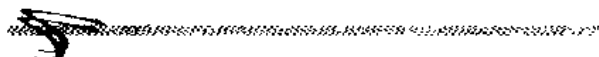
管理工具。从应用的角度看,自底层软件平台结构到高级实用功能,都会因不同国情下电网生产运行及经营管理方式的不同而存在较大的差别。因此,电力 GIS 实质上是一种对软件技术“本地化”有很高要求的应用技术。为了最大限度地满足实际生产的需求,最理想的电力 GIS 应用系统,应该是从底层电力 GIS 软件平台到上层电力 GIS 应用功能的开发,都采取面向我国电力企业实际应用需求的创新发展策略。

事实上,目前国内真正成功且进入到实用化运行的大型电力 GIS(同一套系统中“电网建模工作站”数量在 32 个以上),基本上都是电力企业与国内软件厂商密切合作采用国产 AM/FM/GIS 技术建设完成的。实践表明在使用国产电力 AM/FM/GIS 软件后,国产软件已完全能够满足我国电力行业的应用需求,它完全有能力超越国外 AM/FM/GIS 软件,为我国城乡电网建设与改造工程贡献力量。

能否成功地开发电力 GIS,人才是关键。GIS 专业需要综合性的人才。例如,不同来源的数据有不同的比例尺、投影、时间和可靠程度。要把它们整合在一个共享的 GIS 数据库里,专业人员既需要熟练的 GIS 技术,也需要地理学的知识来理解和分析繁杂的数据。又例如对工作流程的组织,专业人员既需要知道如何最有效地使用 GIS 技术来优化工作和数据流程,也需要了解现有的工作过程。

在电力 GIS 使用单位,专业的 GIS 人员的工作包括数据的整合管理、数据的更新、GIS 应用服务、客户需求调查、工作流程的组织、有关机构的管理协调等等。在 GIS 的研制机构,专业的 GIS 人员需要能够涉及软件工程、GIS 功能、应用专业、数据结构、系统设计、地理模型等领域。高级 GIS 专业人才更要求能在某几个领域比较熟悉。因此,对 GIS 人才的培养不应该局限于 GIS 工具程序的操作,或个别程序的编制,而应该为他们打下较全面的科学工程基础,尤其是培养 GIS 的高级专业人才。

10.5 遵循标准与规范



随着电力 GIS 应用的推广和数据的积累,电力 GIS 又面临了新的挑战,如数据的集成与共享、电力 GIS 对社会的影响、电力 GIS 与法律等等,已成为这一技术发展所面临的新问题。而在诸多的问题中,电力 GIS 的标准化显得最为重要。

电力 GIS 的标准化问题不仅涉及电力 GIS 技术本身,而且与各种相关技术,特别是与计算机和信息处理技术密切相关。它产生的影响也非常之深刻,对未来这一技术的推广和应用,以及整个电力 GIS 界都将产生巨大影响。标准化是电力 GIS 技术开发、系统建立与运行的一种重要机制。现在对这种机制的需要比以往任何时候都更为迫切。在电力 GIS 的设计开发中采用国际和国内的标准化规范是系统成功的前提与保证。

电力 GIS 标准化的作用是多方面的,归纳起来主要有以下几个方面:

(1) 可移植性 (Portability)。为了获得在硬件、软件和系统上的综合投资效益,系统必须是可移植的,使所开发的应用模块和数据库能够在各种计算机平台上移植。

(2) 互操作性 (Interoperability)。一个大型信息系统,往往是一个由多种计算机平台组成的复杂网络系统,有了标准,可以促进客户从网络的不同节点上获取数据,促进资源

共享能力和水平的提高。即从不同硬件环境中获取各种数据和实现各种应用。

(3) 可伸缩性 (Scalability)。为了适应不同的项目和应用阶段,一种优秀的软件必须以相同的客户界面在不同大小级别的计算机上运行。

(4) 通用环境 (Common application environment)。标准提供了一个通用的系统应用环境,如提供通用的客户界面和查询方法等。利用这个通用环境,客户可以减少学习上的弯路和提高生产效率。

从技术的角度看,电力 GIS 标准建立在计算机和信息处理等多种技术的标准之上,离开了这些标准,就无法开发最基本的系统。首先,应当遵循一般计算机和信息处理的标准和规范。例如:

1) 地形图标准。采用中华人民共和国 1:500、1:1000、1:2000 地形图图式标准 (GB792787)。该图形标准分三大类:①点状图形标准;②线状图形标准;③面状图形标准。

2) 分类和编码标准。在信息分类和编码标准方面可采用以下几个标准:①《中华人民共和国地图基础信息数据分类与代码》(GB/TB923—1992);②《中国城市地理信息系统、信息分类体系与编码规范》;③《电力工业部信息编码标准》等。

从应用的角度来看,一个电力 GIS 的成功在很大程度上依赖于数据和各种模块的综合与集成。即电力 GIS 的开发,还必须依据有关电力 GIS 专门技术标准和应用规范。但是我国到目前为止尚未发布电力 GIS 应用推广的相关技术标准和系统应用规范,实际工作的迫切需求又不允许等待下去,因此目前已经完成或正在开发的电力 GIS,只能在还未建立起健全的技术监督机制的市场上寻求解决方案。由于在技术上对电力 GIS 应用缺乏透彻的理解,当面对技术市场鱼龙混杂、良莠不齐的无序竞争局面时,这些电力 GIS 往往遇到许多技术标准和应用规范方面的问题,难以避免地在技术上走了许多弯路,增加了额外时间和成本开销,造成了大量不必要的直接和间接经济损失。我国电力 GIS 技术及应用当前存在的主要问题和基本矛盾是:急速增长的应用需求推动着市场迅速发展,而相应的技术标准和应用规范制定工作却未能及时完成,这种现象在国际上被称为“市场发展超前,技术标准滞后”。近年来在发达国家信息技术发展中时有出现,在完全自由的市场经济中往往是在造成社会财富不小的浪费之后,才能逐步实现技术标准的规范化。应该说这一矛盾目前在我国电力 GIS 技术应用领域中还只是初露苗头,但其负面影响已经显露出来。为此,对此必须给予高度重视,抓紧时机尽快推出电力 GIS 技术有关标准和应用规范,抑制“市场发展超前,技术标准滞后”矛盾的进一步扩大,促进我国电力 GIS 市场健康有序发展,使电力 GIS 技术的应用推广能够顺利完成。

虽然,目前国际上还没有完善的 GIS 技术工业标准,而电力 GIS 于 20 世纪 90 年代初兴起,其技术发展也刚刚开始进入实用化阶段,加之它具有极强的“本地化特征”,因此很难形成相应的国际工业标准。由此可见,我国的电力 GIS 技术标准、规范只能立足于国情研究制定。

一般说来,电力 GIS 技术标准及应用规范应包含这样几个方面内容:

(1) 软件平台基本功能及应用软件功能定义、软件系统结构及运行方式描述;

(2) 数据交换格式定义(包括设备编码数据格式及电网拓扑结构描述数据格式、电力图形符号范例等)、数据交换操作描述、电网信息安全保密条例;

(3) 电力 GIS 元数据规范: 包括电力设备设施的元数据规范和地理空间数据的元数据规范;

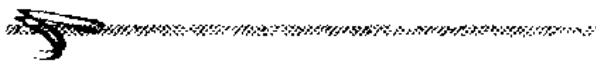
(4) 技术支持功能定义、技术支持体系结构及运行方式描述;

(5) 电力 GIS 通用功能描述及其运行性能评价标准(如调度图形操作响应时间等);

(6) 培训内容定义、培训教育体系结构及运行方式描述等。

此外, 在制定电力 GIS 技术规范时应着重研究建立新的电网资料保密措施和机制。要组织有关专门队伍, 对国内近年来积累的电力 GIS 技术应用经验及教训进行系统的归纳总结工作, 在总结成果的基础上针对我国电力行业应用特点, 制定出电力 GIS 技术应用推广的技术标准和系统建设规范。

10.6 系统维护与建设同步

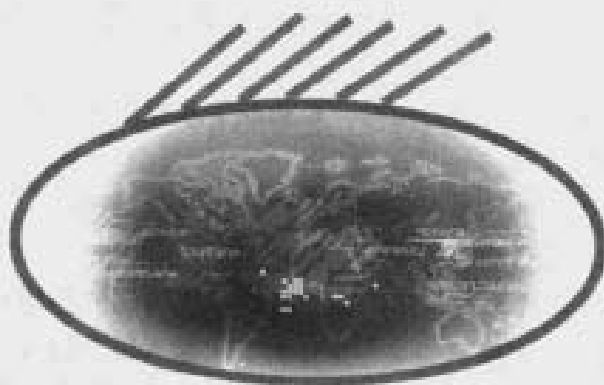


在电力 GIS 工程项目的建设过程中, 应当采用系统维护与建设同步进行的原则, 即电力 GIS 的系统维护工作从系统开发一开始就要纳入计划。优化管理, 提高素质, 尝试电网运行管理新机制。如: 在电力 GIS 的建设中, 结合系统的要求, 制定统一的线路和电力设备设施命名和编码规则, 既基本保持不变, 又方便管理; 对员工素质提出新的要求, 要能胜任今后的电力 GIS 运行维护工作, 就要学习计算机和 GIS 的基本操作, 掌握电力 GIS 的操作技能。

通过电力 GIS 的建设, 特别是在收集和整理有关电网数据, 建立系统模型的工作过程中, 一方面培训有关基层单位部门的主要业务骨干, 使他们掌握配电 GIS 的应用; 另一方面, 使一批新参加工作的员工在学习和掌握电力 GIS 技术的同时, 较快地熟悉实际电力系统设备、技术和运行状况, 使之成为应用电力 GIS 先进技术、进行电力 GIS 管理的骨干人才。

要适应电力 GIS 运行的要求, 革新传统的电力运行管理模式, 变更有关岗位职责, 制定新的电力系统运行管理程序和制度, 做到用人更少、工作更细、效率更高。这是我们需要研究解决的新课题。学习和借鉴其他电力企业应用电力 GIS 的经验, 结合各自单位的实际, 解决系统建成使用后如何保证系统中电力信息的及时变更和维护等问题。特别是在当前大规模进行电力系统改造的情况下, 这个问题尤为突出。

总之, 要逐步尝试新的电力 GIS 运行管理机制, 在实践中改变传统的工作习惯, 经过长期的坚持不懈的努力, 电力 GIS 一定会成为电力部门运行管理不可缺少的高技术和高效率工具。



11

电力地理信息 系统开发技术

11.1 集成式开发



1. 实时系统集成

电力 GIS 的实现一方面需要离线的设备档案资料, 另一方面还需要实时的在线数据。实时的在线数据需要通过能量管理系统 (EMS) 和配电网监控系统 (DAS) 联网获得, 因而电力 GIS 必须实现与 SCADA 等实时系统的集成。电力 GIS 与实时系统的集成 (联动) 实质上是网络接口通信问题, 即联网问题。电力 GIS 与实时系统的联网可采用以下几种方案:

(1) 接收广播信号。当实时系统按广播方式在网上广播时, 可采用在系统缓冲区内实时介包方式, 将接收的信息写入通用数据库, 供电力 GIS 的各客户机共享。为减轻网络负担, 可采用虚拟网络隔离方式将广播信号限制在某一网段中。

(2) 共享接口方式。电力 GIS 和实时系统之间双方或多方约定共享接口库标准, 一般采用通用数据库, 实时系统定时刷新该接口库。

(3) 主备接口方案。当具有负荷转移需求的系统时, 接口库必须建立主备 2 套, 在备份库中存放停电前的状态值, 否则无法满足负荷转移所需的必要数据。

电力 GIS 通过与 SCADA 等实时系统的结合, 集成实时系统的遥测、通信信息, 可以对部分设备进行遥测、通信、遥控以及对配电网运行状态的实时监测, 并能方便地在地理和设备图形上显示实时信息。

2. 多媒体信息集成

多媒体信息包括文本、图形、图像、声音、动画、视频等多种类型媒体信息。电力 GIS 的数据不仅包括图形数据和表格属性数据, 还支持多媒体信息, 通过与多媒体信息集成, 客户可按需要进行照片、声音、录像、文本等资料的查询, 例如杆塔照片、断路器照片、输电线路、变电站出线区的录像以及各种解说和说明文本等。多媒体信息的集成, 把

图形的直观性、数字（文本）的准确性、声音的引导性和亲切感以及录像的动感和趣味性相结合，充分调动客户的多种感官。

电力 GIS 作为多媒体应用系统，集成多媒体信息的同时，也集成了多媒体系统的软硬件及功能。多媒体系统一般由以下三部分组成：

（1）多媒体硬件系统。除了需要较高配置的计算机硬件之外，一般还包括声音、视频处理装置、光盘驱动器以及多媒体输入输出设备。

（2）多媒体操作系统平台。多媒体操作系统平台是在传统的操作系统功能的基础上增加处理声音、图像、视频等多媒体的功能，并能控制与这些媒体的有关输入输出设备。

（3）多媒体创作工具。由于多媒体技术是计算机技术与声像技术的结合，因此，系统应包括专门的多媒体创作工具。

3. 空间处理技术集成

电力 GIS 作为 GIS 的一个具体应用，如同一般 GIS 一样，具有 GIS 的一般功能，而且以空间分析与处理功能为整个系统功能的核心，围绕这个核心辐射出系统的其他具体功能，因而电力 GIS 集成技术中最重要的一块就是空间处理技术集成。

空间处理技术的集成主要有两种方法：

（1）所有的图形和属性数据操作都根据客户具体要求及系统运行操作特点，采用组件技术，用高级语言从底层开发。

（2）使用国内外各种地理信息系统基础软件平台，如 Arc/Info、MapInfo、GeoMedia 等。

前者运行速度快，后者因各种 GIS 基础软件平台已有相当完善的空间数据管理及分析的功能，故可减少开发量。

4. 组件引用与集成

组件又称部件或控件。控件，或 OLE 控件、ActiveX 控件，是目前应用最广泛的软件部件。控件是一种实现若干标准接口的 COM 对象，通过控件容器来使用。例如，Visual Basic 的控件有三种广义分类，即内部控件、ActiveX 控件、可插入的对象。控件通过提供方法、属性和事件来编写程序与应用程序集成。它允许在控件容器中设置控件属性，可以向容器发送相关的事件（控件与其容器间进行交流的重要手段），并且可使用控件方法。这样在 Visual Basic 中引用各种控件集成在电力 GIS 中是较易实现的。其他高级语言（面向对象）的编程方式类似。

11.2 基于互联网 GIS 的开发技术



随着互联网（Internet）和地理信息系统（GIS）的飞速发展，地理空间信息的获取、共享、发布与分析也在发生变化。互联网和地理信息系统的结合，即互联网地理信息系统（Internet GIS）是地理信息系统发展的方向之一。它不仅为全球客户提供分布式地理信息数据，而且还提供在线分布式地理信息处理与分析的工具。建立互联网地理信息系统的目的，一是在互联网上为分布式地理信息提供发布的工具，另一个是在互联网上为分布式地理信息提供实时、分布式处理与计算的方法。

11.2.1 Internet 的起源和发展

Internet 不是一个单一的网络，而是把全球范围内的网络连接在一起而形成的全球计算机网。Internet 使用公共语言进行通信，它类似于国际电话系统——无人拥有或控制整个系统，但是以大型网络的工作方式连接。

Internet 起源于美国政府资助的一项实验。早在 1969 年，美国政府资助了一项有关计算机网络的实验，由 ARPA (Advanced Research Projects Agency) 机构开发一种网络技术，使得计算机可以通过一个强大的网络联在一起。在这个网络中增加或者减少一台计算机对网上其他计算机 (网络节点) 没有任何影响。这个网络就是 ARPAnet (美国国防部高级研究工程局网络，Internet 的前身)，它最初连接了位于或靠近美国西海岸的 4 个计算机站点。通过实验和研究开发出了一种称为传送控制协议及网络互联协议 (TCP/IP) 的技术，ARPA 机构的研究证明基于 TCP/IP 技术的网络可以在很重的网络负载下连接运转。

早期 Internet 主要用于教育领域，许多大学和政府机构都连到 Internet 上交换和发布信息，科研人员和学生利用 Internet 传递共享信息。

在 WWW (World Wide Web, 即万维网) 出现以前，Internet 上的信息发布都是通过 E-mail (电子邮件)、FTP (文件传输协议)、Archie 和 Gopher 实现的。E-mail 使不同的团体以及个人之间广泛地实现信息交换；FTP 用来从一台计算机到另一台计算机进行文件传输；Archie 用来查找 Internet 上的各种文件；Gopher 是使用具有体系结构的菜单界面的信息库。Gopher 通过菜单层次来缩小客户选择主题的搜索范围，并且不同 Gopher 站点经常互相连接，扩充信息量，所以 Gopher 是当时很有效的查找和传递信息的手段。但是，那时的 Internet 上信息搜索技术受到以下限制：

- (1) 依赖 Unix 平台；
- (2) 网络缺乏标准，安全性能差；
- (3) 内容不丰富；
- (4) 只限于字符文本；
- (5) 可扩充性差，不能适应新技术。

由于上述的限制，必须开发出一种新的独立于各种平台的方法，以便在 Internet 上传递信息。瑞士日内瓦的欧洲粒子物理实验室 CERN 开发出超文本标识语言 (Hyper Text Markup Language 或 HTML) 解决了这种平台独立性问题。但只有基于 TCP/IP (传输控制协议/互联网协议) 的协议，才能在 Internet 上传递 HTML 文档。这种基于 TCP/IP 之上的协议便是超文本传输协议 (HTTP)。WWW 是随着 HTML 和 HTTP 一起出现的。Web 通过强有力的媒介传递信息，克服了许多早期在 Internet 上传递信息的限制。

正是由于 WWW 的出现，Internet 上的各种信息来源能够通过超级链接 (hyperlink) 很容易地互相跳转，Web 很快成为 Internet 上发布文本、多媒体等信息的最有效手段。随着越来越多的人通过联机服务或者直接利用局部 Internet 服务提供商 (Internet Service Provider, 简称 ISP) 访问 WWW，许多商业机构意识到 Internet 具有的巨大潜力，也连到 Internet 上，利用 Internet 发布新产品信息，处理商业事务以及提供客户服务。现在 Internet

已成为连接全球成百上千万计算机的网络,并以惊人的速度在世界范围内扩展。它已深入到人们生活和社会活动的方方面面,从早期在学术和科学研究中所扮演的角色扩展到商业、政府、电子金融和娱乐等各个领域。

11.2.2 开放式地理信息系统

地理信息作为空间基础信息,对我国社会的发展将起到十分重要的作用。计算机技术、空间技术和信息科学的发展,特别是近年来 Internet 的迅猛发展,为传统的 GIS 注入了活力也提出了挑战。传统 GIS 模式下地理数据格式互不兼容、资源无法共享等诸多弊端已严重地阻碍了 GIS 在产业部门的广泛应用。

为了解决 GIS 发展中地理信息不能互操作的瓶颈问题,近年来,许多政府机构、研究机构、软件开发商及系统集成人员成立了 Open GIS 协会(OGC)。它致力于开放的地理信息系统(Open GIS)研究,并且制定了一套支持 Open GIS 的规范 OGIS(Open Geography Interoperable Specification,开放式地理互操作规范)。它鼓励软件开发商和系统集成者坚持 OGIS 的标准,逐步地开发出一系列符合规范的工具、数据库及其他地理信息互操作的产品,以最大限度地共享资源及信息交互。正如《Open GIS 指南》中所说:在单一的网络运作环境和工作流程下,Open GIS 的目标是实现这样的一种技术,它使得一个应用系统开发者能够从网上透明地获取任何地理数据和任何地理数据处理功能或方法,而不管它的数据格式和数据模型。应用于 GIS 领域,侧重于改变当前 GIS 模型中特定的应用系统及其功能与它内部数据模型及数据格式紧密捆绑的现状。OGIS 不仅有助于 GIS 个体间的信息交换,而且能够与其他系统如统计分析、影像处理、文档管理、可视化等交换信息。

因此,开放 GIS 的基本要求如下:

- (1) 实现互操作应用环境;
- (2) 可支持多种通用数据模型的共享数据空间;
- (3) 可浏览异质数据的浏览器。

与 Open GIS 发展相适应,使得建立可伸缩性的分布式对象计算结构(DDC)成为应用的主流。网络技术和地理信息共享技术使得互联网地理信息系统(Internet GIS)应运而生。Internet GIS 既适应了分布式计算模型的要求和社会应用的需求又借助于网络技术,使地理信息互操作真正具备了现实实现的可能性。因此,正是由于 Internet 技术的发展,OGIS 所提出的地理信息互操作性目标才有可能实现。

11.2.3 互联网 GIS 的数据共享标准

由于数据源不同,采用的数据标准不同,在数据共享方面尚存在很大的障碍。为此,许多科研组织机构进行了大量的研究工作。目前,从事地理数据共享标准的组织和机构有:

- (1) 以国际标准化组织 ISO/TC211 小组为核心,包括 37 个国家和地区在内的地理信息国际标准组织。
- (2) 欧洲标准化组织 CEN 提出的,包括 30 个国家和地区在内的地理信息国际标准

实施的 GI2000 和 EGII 计划委员会。

(3) 美国联邦地理数据委员会 (FGDC)。它依据空间数据转换标准 SDTS, 负责实施美国国家空间基础设施计划 NSDI, 制定相应的规范与标准 (含空间元数据标准), 为全球空间基础设施计划 GSDI 提供标准与技术准备。

(4) 由 70 多个政府部门、研究机构和软件厂商组织的 Open GIS 协会。提出了网络环境下的地理数据互操作的开放式协作标准。

(5) 我国地理信息共享标准的研究, 由北京大学、中科院地理所、武汉大学等多家单位联合进行。

(6) 我国地理空间元数据标准研究。由国家基础地理信息中心、国家信息中心、水利部、武汉大学等专家单位和行业部门进行。

尽管有众多科研组织投入地理信息共享标准的研究, 但由于地理信息的复杂性, 目前尚没有大家都可以遵循的成熟的数据标准。在实际的 Internet GIS 建设过程中, 一般采用如下几种形式描述空间数据信息:

(1) 采用 HTML “热地图连接 (Hot Map Link)” 的形式。将地理影像分成许多区域, 每一个区域对应一个数据集。当选中一区域时系统就会将这个区域对应的地理数据集提交给客户, “多级热地图连接” 可以将地理数据集按金字塔结构由粗至细分割, 直至满足客户需求为止。

(2) 采用 CGI 影像制作方式。软件系统将地理数据所在区域的一定分辨率的影像提供给客户。在获取客户感兴趣的区域 (Area of Interest, AOI) 后生成该区域的影像并替换原来的影像。

(3) 采用已有的 GIS 软件, 在 HTML 中嵌入插件, 通过 HTML 获取客户的请求, 然后发回服务器, 服务器处理后将生成的图形返回客户端。

(4) 采用 JAVA、ActiveX 等技术自行开发空间数据可视化查询系统。

11.2.4 互联网 GIS 的体系结构

传统集中式 GIS 的数据库统一存放在主机或一台服务器上, 且数据格式因 GIS 开发平台的不同而各异, 因此数据无法实现真正共享。而基于互联网的开放式 GIS 若要依据制定的数据共享标准, 实现真正意义上的数据共享, 并使得开发者或客户能够从网上透明地获取任何地理数据及处理功能, 而不管它的数据格式和数据模型, 则应采用分布式服务的体系结构。

分布式服务的体系结构是一个灵活的、既可在客户端又可在服务器上执行的体系结构。其目的是平衡两者在处理时的冲突, 最大限度地利用计算机硬件资源。例如, 动态地提取地理数据的子集, 数据采样和分析放在服务器上执行要比客户机的效率高。而若从空间或属性数据中取得主题查询的结果, 则在客户机上执行更为适宜。

在服务器和客户机上合理地分配工作负荷, 分别执行处理过程, 充分利用了已有的硬件资源, 把耗时的分析和计算任务放到服务器上执行, 使得应用程序满足“瘦客户机”的要求。同时, 尽量把处理这些任务的过程和数据放在同一台机器上, 或同处在一个局域网

内, 这样能够有效地减少对网络带宽的需求, 提高应用程序的执行效率。

为了充分利用现有资源, 分布式服务结构具有良好的可伸缩性, 能方便地把一台服务器升级为多处理器, 而不需要改动软件。随着微机性能的大幅度提高, 客户以较小的硬件投资获得比传统大型机系统相当甚至更加强大的处理功能。这也是基于客户机/服务器计算模式的重要要求, 它能够灵活而有效地适应高负载的网络对服务器的需求。

分布式地理信息 (Distributed Geography Information, DGI) 是指使用 Internet 技术, 在 Internet 上以多种形式分布式发布的地理信息, 如地图、图像、数据集合、分析操作和报告等。现有分布式地理信息的应用方式有原始数据下载、静态图像浏览、动态图像浏览、元数据目录浏览、基于万维网的地理信息查询及分析和智能网络型地理信息系统等。分布式地理信息领域仍然处于发展阶段。

分布式地理信息应用从简单的已绘制好的地图在 Web 浏览器上显示, 到基于 Internet 的 GIS 功能综合, 远程的 GIS 客户可以共享普通的 GIS 数据, 并与其他 GIS 客户实现实时通信。发展分布式地理信息应用技术, 集中体现在服务器、客户机和网络通信三个方面。即: 服务器存储数据和应用程序; 客户机使用数据和应用程序; 网络通信控制服务器与客户机之间的信息流。

地理信息本身具有分布式特征。正是由于地理信息本质上是分布的, 而客户又需要对分布的地理信息完成浏览、查询、分析等操作, 这就要求 Internet GIS 需要解决如何实现地理信息在地理位置上分散与实际操作、分析必须集中的矛盾。即: 在 Internet GIS 的

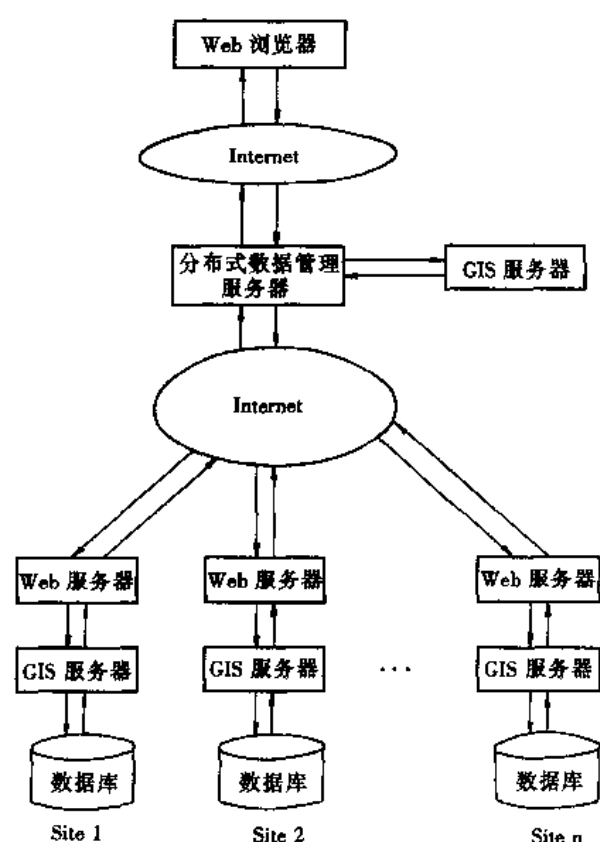
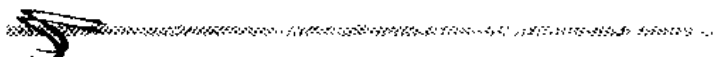


图 11-1 Internet GIS 分布式服务体系结构图

服务器端, 不同地域、不同行业的数据生产部门对应专门的数据服务器。每一个数据服务器对其相应的数据进行更新, 从而实现整个 Internet GIS 数据的共享与更新。一方面, 地理信息必须是分布式存储的; 而在客户端, 通过图形界面完成对远程分布式地理数据的获取、显示、分析等操作。而且 Internet GIS 的数据共享、分析与处理不仅仅是客户端对单个图幅或单一数据源的操作, 而是来自分布式数据源的地理信息在客户端几何与属性的统一。另一方面, 分布式地理信息的处理又是集中统一的。比如某部门若查看陕西省的电力设备分布图, 由于考虑到数据的共享与更新, 那么分布图的数据服务器势必建立在该省所属各个地市的相关部门。同时, 需要在西安市建立分布式数据库管理服务器。客户通过 Internet GIS 经西安市的服务器访问数据时, 所需要的信息可能不仅仅来自西安市或是宝鸡市, 而是对全省的地理信息分析

操作的综合。如果客户需要得到某一地区详细的电力设备分布图时,数据库管理服务器就需要从相关地区的数据库服务器中装载相应的数据在客户端显示。客户可以在客户端无缝地浏览这一地区的数据,而无须关心数据的来源,这对客户来说是透明的。更进一步,客户可以通过 Internet GIS 所提供的数据进行查询、统计及决策分析,如确定两地最佳选线路径或显示两市对某一电力设备相应参数数据的统计图。当进一步放大时,可以得到更为详细的信息。分布式服务的体系结构如图 11-1 所示。

11.3 基于组件式 GIS 的开发技术



传统 GIS 开发平台均采用专门设计的开发语言。例如, Arc/Info 采用 AML, 加上庞大的函数、命令库,使得普通的开发技术人员难以掌握,延长了应用产品的开发周期。传统 GIS 中的空间数据管理和数据库管理系统通常直接由 GIS 厂商提供,这也是传统 GIS 软件价格昂贵的一个重要原因。这种情况一方面增大了应用开发与系统建设的成本,另一方面也限制了客户根据应用需要和各种数据库工具的优劣,选择利用数据库工具的机会。

传统 GIS 与 MIS 和多媒体开发工具的衔接都不甚方便,其数据交换通过 DDE 等间接方式实现,影响了 MIS 对空间地理信息的利用。

综上所述,传统 GIS 开发工具由于其不灵活的开发方式及昂贵的价格,在相当大的程度上限制了 GIS 应用领域的拓展。

11.3.1 GIS 的组件化演变

地理信息系统 (GIS) 技术正处于一个重要的发展时期, GIS 组件化的趋势日益明显,组件化 GIS 已经成为 GIS 的重要发展方向之一。从 GIS 发展历史看, GIS 可以划分为以下的几个发展阶段,如图 11-2 所示。

从宏观角度看, GIS 呈集成—分散—再集成—再分散这样一个螺旋上升规律发展。具体地讲,在 GIS 发展初期,由于技术水平所限, GIS 软件只是一些满足某些功能的小模块,并没有形成完整的系统,随着理论和技术的发展,各种 GIS 模块趋向集成化,逐步形成大规模 GIS 开发平台,称为集成式 GIS

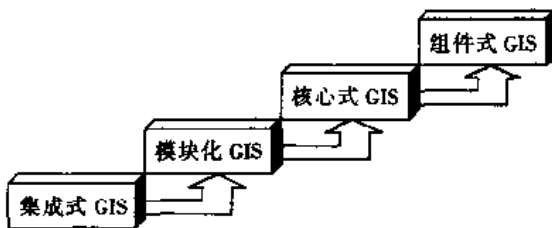


图 11-2 GIS 发展阶段

(Integrated GIS), 如 Arc/Info、MapInfo、GenaMap 等。集成式 GIS 的优点在于它集 GIS 各项功能于一体,形成了功能完整的系统;缺点在于系统复杂、庞大、成本高,不易与其他系统集成。

继集成式 GIS 后出现了模块化 GIS (Modular GIS), 如 Intergraph 的 MGE 等。模块化 GIS 是按照功能把 GIS 划分为一系列模块,同时又运行于统一的基础平台之上(如 MicroStation)。模块化 GIS 的模块被有目的地划分,因此模块化 GIS 具有较强的针对性,便于开发和应用,客户可以根据需求选择所需模块。但模块化 GIS 同样很难与其他系统集成以形成

高效、无缝的 GIS 软件。

针对以上两种模式的缺点,提出了核心式 GIS (Core GIS)。核心式 GIS 被设计为操作系统的基本扩展。核心式 GIS 提供了一系列动态连接库 (DLL), 因此, 可采用高级编程语言通过应用程序接口 (API) 访问内核所提供的 GIS 功能来开发 GIS 应用系统。另外, 实现各种功能的动态连接库可以被重组和拆分, 核心式 GIS 提供的动态连接库更底层的组件化方式能给客户提供更大的灵活性。但是, 由于核心式 GIS 提供的组件过于底层, 给开发者带来一定难度, 也不适应当今可视化及面向对象程序设计的潮流。

随着计算机软件技术的发展, 组件化方式使 GIS 发展到了一个全新的阶段, 产生了组件式 GIS (Component GIS, 简称为 ComGIS)。组件式 GIS 基于标准的组件式平台, 各个组件之间不仅可以进行自由、灵活地重组, 而且具有可视化的界面和使用方便的标准接口。组件式平台主要有以下两种:

(1) Microsoft 的 COM (Component Object Model, 组件对象模型)/DCOM (Distributed Component Object Model, 分布式组件对象模型);

(2) OMG 的 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构)。

基于 COM/DCOM, Microsoft 推出了 ActiveX 技术, ActiveX 控件是当今可视化程序设计中的应用最为广泛的标准组件。目前, 组件式 GIS 大都是 ActiveX 控件或者其前身 OLE 控件。

11.3.2 组件式 GIS 的特点

组件式 GIS 极大地方便了应用和系统集成。同传统的 GIS 比较, 这一技术具有以下几方面特点:

1. GIS 功能强大

GIS 组件都是基于 32 位系统平台的, 采用 InProc 直接调用形式, 所以在管理大容量数据方面的能力以及处理速度都不比传统 GIS 软件逊色。GIS 组件完全能实现传统 GIS 的基本功能 (如空间数据的编辑、更新、空间查询、统计分析等) 和诸如拼接、裁剪、叠合、缓冲区等空间处理与分析能力。

2. 可直接使用常用开发工具

组件 GIS 的开发应具有严格的标准, 因此, 凡符合标准的组件都可在目前流行的各种开发工具上使用, 而勿须专门的 GIS 开发工具。这样 VB、VC++、VF、Delphi、PowerBuilder 等都可直接成为组件 GIS 的优秀开发工具, 它们各自的优点都能够得到充分发挥。这与传统 GIS 专业性开发环境相比是一种质的飞跃。

3. 开发简捷

传统 GIS 往往具有独立的二次开发语言, 如 Arc/Info 的 AML、MGE 的 MDL 及 MapInfo 的 MapBasic 等。对 GIS 基础软件开发者而言, 设计一套二次开发语言是不小的负担, 同时二次开发语言对客户和应用开发者而言也存在学习上的负担。而且使用系统所提供的二次开发语言, 开发能力往往受到限制, 难以处理复杂问题, 系统运行效率低。组件式 GIS 则不需要专门的 GIS 二次开发语言, 只需实现 GIS 的基本功能函数, 按照 Microsoft 的 ActiveX

控件标准开发接口。这有利于减轻 GIS 软件开发者的负担,而且增强了 GIS 软件的可扩展性。GIS 应用开发者不必掌握专门的 GIS 开发语言,只需熟悉基于 Windows 平台的通用集成开发环境,以及组件式 GIS 各个控件的属性、方法和事件,就可以完成应用系统的开发和集成。目前,可供选择的开发环境很多,如 Visual C++、Visual Basic、Visual FoxPro、Borland C++、Delphi、C++ Builder 以及 Power Builder 等等。

由于 GIS 组件可以直接嵌入 MIS 开发工具中,因此,对于广大开发人员来讲,就可以自由选用他们熟悉的开发工具。开发人员可以像管理数据库表一样熟练地管理地图等空间数据,无须对开发人员进行特殊培训。在 GIS 开发过程中,开发人员的素质与熟练程度是十分重要的因素,这将使大量的 MIS 开发人员能够较快地过渡到 GIS 或 GMIS 的开发工作中,从而加速 GIS 的发展进程。

4. 小巧灵活、价格适中

在组件模型下,各组件都集中地实现与自己最紧密相关的系统功能。组件化的 GIS 平台集中提供空间数据管理能力,并且能以灵活的方式与数据库系统连接。在保证功能的前提下,系统表现得小巧灵活,而其价格仅占传统 GIS 开发工具很少的一部分。由于传统 GIS 结构的封闭性,往往使得软件本身变得越来越臃肿,系统的开发难度大,系统之间的交互性差。组件式 GIS 提供空间数据的采集、存储、管理、分析和模拟等功能,至于其他非 GIS 功能则可以使用专业厂商提供的专门组件,这样,大大降低了 GIS 软件开发成本。另外,组件式 GIS 本身又可以划分为多个组件,每个组件可完成不同功能。客户可以根据实际需要选择组件。

11.3.3 组件式 GIS 的应用

ActiveX 是一套使用组件对象模型的技术。它允许各个软件在网络环境下相互作用,而不依赖于具体语言。ActiveX 技术可用于创建运行在桌面或 Internet 下的应用程序。

ActiveX 控件就是 OLE 控件和 OCXs 在 Internet 环境上的扩展。微软已经用 ActiveX 控件替代 OLE 控件,ActiveX 控件可以用不同的编程语言创建,包括 C、C++ 和 VB。它们也可以通过 VBScript、JavaScript 被控制,因此,任何应用程序都可使用它们。

COM 是 ActiveX 技术的基础。ActiveX 控件是建立在一系列以 COM 为基础的 OLE 服务基础之上的。COM 设计时就考虑了面向对象编程,它支持封装、多态和可重用。因此,COM 对象关心的是它与其他对象的接口,当不在原开发环境中使用时,一个 COM 接口是暴露的而且是可见的。说它可见是因为它是一个二进制对象,所以它是不依赖于机器的。这并不要求环境或交互式对象要知道关于 COM 对象的内部细节,COM 关心的是如何与该对象接口。

COM 中包括两种成员:属性和方法。属性是数据成员,方法是成员函数。因此当使用 ActiveX 控件时,不必了解它是用何种语言编写,只需直接引用其传递过来的属性和方法即可。

各个 GIS 控件之间,以及 GIS 控件与其他非 GIS 控件之间,可以方便地通过可视化的软件开发工具集成起来,形成最终的 GIS 应用系统。控件如同一堆各式各样的积木,他们

分别实现不同的功能（包括 GIS 和非 GIS 功能），根据需要把实现各种功能的“积木”搭建起来，就构成应用系统。

目前，比较流行的组件式 GIS 有由全球最大的 GIS 厂商 ESRI 公司推出的 MapObjects、由全球著名的桌面 GIS 厂商 MapInfo 公司推出的 MapX 和美国 Intergraph 公司推出的 GeoMedia。表 11-1 仅对 MapObjects 与 MapX 功能作一下对比。

表 11-1 MapObjects 与 MapX 的功能比较

功 能	MapX	MapObjects
对地图的常规操作	有（放大、缩小、漫游、图层控制等功能）	
客户绘图图层	有（装饰层）	无
地图标注	有	有
对图形及属性数据编辑	较强	强
矢量图形与栅格图像叠加	可叠加	可叠加
数据查询方式	图上实时查询；SQL 语句查询	
分析功能	可进行二次开发	
开发工具	基于 Windows 的面向对象语言编程工具（VC、VB、C++、Builder、PowerBuilder、Delphi 等）	

在选择开发工具时，VB 和 Delphi 功能较强、简单易用且具有一定的数据库管理功能，因此适于大多数的 GIS 应用软件开发；VC 功能强大，但对开发人员要求很高，因此适于具有一定编程水平的人员开发具有分析决策功能的底层 GIS 软件；PowerBuilder 数据库管理功能强大，因此适于开发数据库管理功能要求较高的 GIS 应用软件。

11.4 基于 WebGIS 的开发技术



11.4.1 WWW 简介

1. WWW 概念

WWW（World Wide Web，全球信息网）简称 3W，是 CERN 为在 Internet 建立分布式多媒体信息网络系统所开发出来的一种信息网络系统。这种信息网络系统，通过超级链接把远端的各个计算机连接起来，使它们成为广域网中的一员。

WWW 网上最基本的传输单位是 Web 网页。每个 Web 页面，包括 Web 节点的主页，具有惟一的地址称为统一资源定位符（Uniform Resource Locator，URL），例如，<http://www.wtusm.edu.cn/default.htm>。URL 指定存储页面的计算机名以及到此页面的确切路径。一个网页中可以包含文字、图像、图形、声音和视频剪辑等内容。除此之外，网页中还包含超级链接这种特殊正文。超级链接是 Web 地址嵌入其中的字或图形。超级链接文本与 Web 页面上的其余文本通常颜色不同，超级链接图形常有带颜色的边框。Web 上的文件或页面是由超级链接互相联系的。单击超级链接可跳到特定 Web 节点中特定的页面，这些页面可能置于世界任何地方的计算机上。当连接 Web 时，等于可访问全世界范围内的信

息。

在超文本技术发明以前,阅读是一个线性的过程,正是由于超文本的出现,一个网页作者可以使他的读者只需简单地点击鼠标,就可以直接跳转到有关的网页中,阅读实际上已经不是一个线性过程了,按什么顺序来读,由读者自己决定。正是这种把全世界范围内相关网页联系起来的能力才使得 WWW 具有很强的功能。

但在早期,网页中只能显示文本和图片。经过发展的超文本标记语言 (HTML) 和许多新技术的引入,例如 Java 和 ActiveX,为 Web 创作者提供了新的手段。现在,一个 Web 站点能够提供包括声音、动画、视频剪辑以及其他活动内容。新技术的应用可以不使用 Web 服务器资源而创建交互式 Web 页面来满足不同客户交互的需求。这些新技术的发展,同样也可以应用于 GIS 和地图制图领域。

2. WWW 的工作机制

WWW 实际上是处于计算机网络之上的。网络协议通常是层次结构的,一层网络协议建立在下一层之上。WWW 实际上处于网络协议层的最顶层,TCP/IP 协议负责承担 Internet 上的大多数的通信。Web 浏览器(或称 HTML 浏览器,例如微软的 Internet Explorer, IE)和 Web 服务器(例如微软的 Internet Information Server, IIS)之间通信所使用的语言被称作超文本传输协议(HTTP)。信息实际上是通过 TCP/IP 协议在 Web 浏览器和 Web 服务器之间传送的。网络协议的层次关系如图 11-3 所示。

图 11-4 所示为基于客户机/服务器的 WWW 计算模型。客户机/服务器模式的网络应用分为两部分:客户部分和服务部分。网络连接的客户端请求连接的服务器方提供服务或信息,连接的服务器方对客户端的请求作出响应。也就是说,在客户机/服务器模式中,网络应用程序完成两个独立的预定义的功能:请求信息和作出响应。

客户机/服务器模式的应用已经相当广泛。在客户机/服务器模式中,中央计算机(即服务器)具有很强的处理能力,处理大量数据的集中工作甚至可以在通过网络互联的多个服务器计算机之间分配。

11.4.2 WebGIS 与传统 GIS 的比较

传统 GIS 存在许多弊端。多数 GIS 为基于文件共享的低级分布式结构,数据集中存放于服务器,由空间数据库系统进行统一管理,在客户端采用 GIS 桌面而系统进行远程文件调用,存在的主要问题是:

(1) 文件服务器结构,处理功能完全依赖客户端,工作效率低。

(2) 客户端的任何操作都要将服务器文件远程复制到本地进行,多客户并发操作时,网上存在多个备份,数据完整性和一致性难以保证;大量数据频繁传输,容易造成网络拥塞,降低系统性能。

(3) 成本高昂。企业客户的 GIS 要求仅限于一般功能,因此每个客户端都配备昂贵的专业 GIS 软件无疑是巨大浪费。

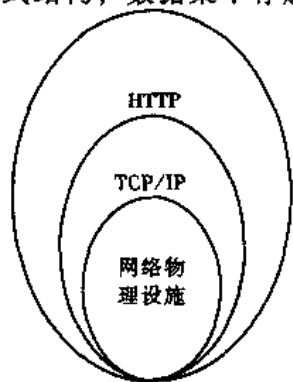


图 11-3 网络协议
层次结构

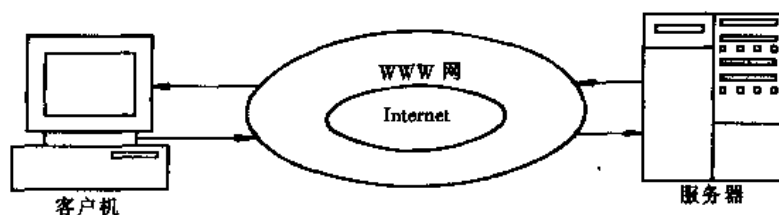


图 11-4 WWW 网基于客户机/服务器计算模型

(4) GIS 桌面系统操作复杂, 需要专业基础和长期培训, 不适合企业级及大众化应用。

WebGIS 是 Internet 技术应用于 GIS 开发的产物。它与传统 GIS 相比具有如下几大优势:

- (1) 大规模降低成本。
- (2) 操作简单的 Web 页面取代错综复杂的窗口。
- (3) 充分利用网络资源, 复杂运算处理交由服务器执行, 数据量较小的简单操作由客户端完成, 网络负荷较轻。

GIS 通过 WWW 功能得以扩展, 真正成为一种大众使用的工具。WebGIS 利用 JAVA、CGI、PLUG-IN 等开发技术, 使客户直接通过 Browser 对 GIS 数据进行访问, 从 WWW 的任意一个节点, Internet 客户可以浏览 WebGIS 站点中的空间数据, 实现检索查询、制图输出、编辑修改、制作专题图等 GIS 基本功能, 以及进行各种空间运算和空间分析, 从而使 GIS 得到广泛应用。

11.4.3 网络技术对 WebGIS 的支持

1. TCP/IP

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 是一组计算机通信协议的集合, 其目的是允许互相合作的计算机系统通过网络共享彼此的资源。这里的计算机系统既包括同构的系统, 也包括异构的系统。网络可由同构的网络系统组成, 也可由异构的网络系统组成, TCP/IP 协议针对的是异构的网络系统, 也就是说, 它着眼于由异构的网络系统构成的网络。TCP/IP 也称为“网际协议簇”, TCP 和 IP 只是这簇协议中最著名的两个。TCP/IP 被 Internet 证明是成功的网络互联技术, 是事实上的工业标准, 并蓬勃地发展起来。

2. HTTP

HTTP 即超文本文件传输协议, 是 WWW 用于不同计算机之间的信息传输规则。应用 Internet 浏览网页通常要经过四个步骤: 连接、需求、响应和关闭。而这四个阶段都是在 HTTP 控制之下, 在连接阶段, 网络的浏览器发出联机命令, 以便使计算机客户与网络服务器连接, 如果连接成功, 接着发出需求的信息, 告诉网络服务器需求的信息和如何回应, 网络服务器根据要求和 HTTP 规则, 进行查询并回传信息到网络浏览器, 最后是关闭连接。

3. HTML

HTML 即超文本标识语言, 是一种标识或者说是格式化计算机语言, 它允许对文本文

件通过加上格式命令——一个附加控制关键字，放在“<”和“>”之间，来格式化文字加上图形、声音、动画和电影，并且可以把这些存储为标准的文本文件格式——ASCII 文件。应用 HTML 可以做到：①设计可以适应各种网络浏览器的网页；②创立一些连接，可以使客户通过网页直接跳越到 Internet 上的其他网页；③在 Internet 上传送多媒体信息；④连接 Internet 上的其他资源及数据。

HTML 不象 Microsoft Word 那样把文件做成“所见即所得”的形式，它对文件进行格式化后，并不能立即见到所设计的版面，只有通过网络浏览器才可以看到。HTML 的控制符告诉网络浏览器如何来显示文字、图像，如何播放音乐和电影。HTML 的独到之处是 HTML 之中的超文本文件，它使 HTML 超出文本格式，允许在文件中设计不同的链接，可以直接在文件之间跳跃。目前，有许多的商业软件可以制作 HTML 文件，如 Microsoft 的 FrontPage。

11.4.4 WebGIS 的结构模式

WebGIS 的结构模式主要有以下三种：

1. 集中模式

这是传统的计算模式，亦即主机-终端模式。在这种模式中，主机承担所有的计算和数据管理任务，终端只负责显示图形。这种模式的优点是容易管理，缺点是对主机的性能要求很高，同时也浪费了终端计算机的资源，因此这种模式已逐渐退出主流。

2. 客户机/服务器

即 Client/Server。在这种模式下，服务器集中管理数据，数据库集中于服务器，以便数据库的维护。而客户机承担计算任务，客户机和服务器之间通过网络协议进行通信。客户机向服务器发出数据请求，服务器将数据传送给客户机进行计算，计算完毕，计算结果可返回给服务器。这种模式的优点是充分利用了客户机的性能，使计算能力大大提高。因此，这种结构具有强大的数据操纵和事务处理能力，以及数据的安全性和完整性约束。另外，由于客户机和服务器之间的通信是通过网络协议进行的，是一种逻辑的联系，因此物理上在客户机和服务器两端是易于扩充的。

3. 浏览器/服务器模式

即 Browser/Server。实质上是 Client/Server 模式与 Internet 技术相结合的结果，这种模式不仅利用了基于 Web 的 Internet 结构的简便和灵活性的特点，而且应用 Client/Server 技术大大地强化了其事务处理和安全性、完整性约束能力，从而实现了真正业务相关的 WebGIS。这也是目前 Web GIS 的主流计算模式，详细情况可参见 11.4.7。

11.4.5 WebGIS 相关技术集成

1. 利用通用网关界面

WebGIS 最先使用的方法是 CGI 技术。Web 一出现，CGI 技术很快就被用于构造能产生动态地图的 Web 网站。GIS 厂商在其成熟产品的基础上兼容发展 Intranet 解决方案，通常采用 CGI 方案，即提供专用空间数据库的 Web 接口。CGI 是一种连接应用软件和 Web

服务器的标准技术,是 HTML 的功能扩展。HTML 超文本是一种不可编程的静态文本,它的设计原则是显示数据和文件,而不是处理数据,因而不能用来产生动态的信息,缺乏交互性。但是,灵活易用的 CGI 程序与 HTML 的结合实现了交互式的动态通信。1997 年 ESRI 推出了 MapObjects Internet Map Server,使用 HTML 将客户端的请求传给 Web 服务器,而 Web 服务器则通过专用的 CGI 访问 GIS 服务器,GIS 服务器承担了所有的查询、计算工作,将结果构建成一个 HTML 文档反馈给 Web 服务器,再将 HTML 文档传给客户端浏览器。

由于 CGI 是网络服务器上可执行的程序,任何人要访问相应的网络服务器,都可以运行 CGI 程序。基本上所有的计算机语言都可以用来扩展 CGI 程序,最常用的几种包括 VC、C++ Builder 和 VB。

2. 插件法

插件法 (Plug-ins) 是由网景公司发明的增加网络浏览器 (NetScape) 功能的方法。该公司提供了一套应用程序接口 (API),因此可用能和网络浏览器直接交换信息的专门 GIS 软件包的方法来构建 WebGIS。通过插件法可使 WWW 地理信息具有处理空间信息的功能,但插件法软件也需和传统软件一样先安装,再使用,从根本上讲是对传统 GIS 的改良方案。

3. JAVA

尽管插件可以和浏览器一起有效处理空间数据,但这种方法仍有缺陷。首先,它将导致客户端负担过重,因为几乎每个软件厂商都希望它的软件能与互联网兼容,这显然不符合标准网络浏览器便宜简单的设计思想。其次,众多插件的管理会成为信息技术部门的一个大问题,因为任何人只要可以连上互联网都可以接受最新的插件。为解决上述各种问题,互联网程序语言应运而生。互联网程序语言的出现标志着 WebGIS 的开始,目前最普及的互联网程序语言是由 SUN 公司开发的 Java,尽管出现时间较短,但发展迅速,几乎所有重要的软件公司都在研制与 Java 兼容或直接用 Java 开发的产品,且许多已经上市。

Java 是一种面向对象的计算机语言,它借鉴了 C、Smalltalk、C++ 和 Cedar/Mesa 等面向对象语言的优点,其特点是简洁、动态适应性强,运行稳定、安全,对网络而言,与计算机体系结构无关,容易移植,在一种系统下发展的应用软件可以直接在完全不同的系统下运行。事实上 Java 编译器产生的是一种独立于任何操作系统的字节码 Bytecode,这种字节码程序可以在任何一台 Java 虚拟机上运行,任何系统只要支持 Java 虚拟机就可以运行 Java 程序,而与程序在何种系统下开发和编译无关。

4. COM 技术

(1) COM。COM 用以建立软件模块之间的通信,为软件部件之间进行连接和通信提供了有效机制。

(2) ActiveX。ActiveX 是一套使用 COM 的技术。它允许各个软件在网络环境下相互作用,而不依赖于开发各软件的具体语言。

5. ASP 技术

ASP (Active Server Page) 是微软公司推出的服务器方组件,它与 IIS3.0 (Internet Information Server) 协同使用,可以提供方便的服务器方开发接口。

与 CGI 技术相比, ASP 具有许多优点: 在以往由 CGI 动态生成的页面只是数据的显示, 没有交互功能, 而且功能单一。ASP 技术完全摆脱了 CGI 技术的局限性, 它不但可以在 GIS 数据库中进行复杂的操作, 而且生成的页面具有很强的交互性, 允许客户方便地控制和管理数据。

通过 ASP, 还可以结合 HTML 网页、ASP 指令和 ActiveX 控件建立动态、交互且高效的 Web 服务器应用程序。有了 ASP 就不必担心客户的浏览器能否运行所编写的代码, 因为所有的程序都将在服务器端执行, 包括所有嵌在普通 HTML 中的脚本程序。所有的网络交互过程可以通过 ASP 透明地处理。这就意味着不再需要使用 CGI 或者 ISAPI, 可以使用任何可以开发 OLE 组件的工具, 如 VB、VF、VC 等来开发服务器端组件, 实现需要的数据访问功能。服务器首先从客户端得到各种参数, 然后根据这些参数运行程序, 当程序执行完毕后, 服务器仅将执行的结果返回给客户浏览器, 这样也就减轻了客户端浏览器的负担, 提高了交互的速度。

总之, 基于 WebGIS 的开发技术不仅需要 Internet 的网络支持, 面且还需将 Web 技术、GIS 技术及各种网络技术进行有机集成。表 11-2 总结了 WebGIS 的几种主要集成技术。

表 11-2 WebGIS 的集成技术

网络技术支持	网络通信协议	TCP/IP
	文本传输协议	HTTP
	文档显示和应用集成	HTML
发布技术集成	客户端集成	插件技术 (Plug-in) 构件技术 (ActiveX) Java 技术
	服务器端集成	CGI 技术 API (网关服务) ASP 技术
扩展技术支持	客户端扩展	Java 和 JavaScript 支持
	服务器端扩展	CGI、API 及 ASP 支持

11.4.6 WebGIS 实现

以 Web 方式实现 GIS 时, 首先必须保证网络客户能够经由 Web 浏览器查看地物特征及其相关的属性信息, 这就涉及到以何种数据格式在浏览器上表达和显示地理信息的问题。在传统的 GIS 中, 主要有栅格和矢量两种数据结构表达地理信息, 其中, 栅格结构不支持有意义的缩放操作, 而矢量结构则可确保在执行缩放操作之后的数据精度。目前的 Web 浏览器可以直接支持 GIF 和 JPEG 两种栅格结构的数据显示。由于其固有的静态效果, 在客户请求的响应速度方面还难以令人十分满意。在 Web 浏览器上能够支持的矢量结构主要有 DWF (Drawing Web Format)、CGM (Computer Graphics Metafile)、PDF (Portable Document Format)、DRA-CAD-MPP、FLARE 和 SVF (Simple Vector Format) 六种。但 Web 浏览器不能提供直接浏览这些矢量数据的能力, 只有在客户端安装了相应的插件或服务程序 (多数是免费提供的) 后, 才能在客户端浏览以这些格式生成的地图数据。

其次, 还必须确定 WebGIS 的结构实现方式。根据交互过程中 Web 服务器和客户端的任务方式来区分, 可以有以下两种基本的 WebGIS 结构实现方式:

(1) 客户端仅发出请求和浏览结果, 所有的 GIS 功能都由 GIS 服务器处理, 并由服务器将计算结果以 WWW 可以识别的格式传送到客户端。

这种方式又称服务器端策略。在该方式中, 客户端只需一通用的浏览器, 如 Netscape 或 Explore, 而勿须购买或安装各种应用软件。服务器则为 Web 服务器。浏览器和服务器之间通过 TCP/IP 协议进行连接。浏览器发出数据请求, 由 Web 服务器向后台取出数据并计算, 将计算结果返回给浏览器。客户端所需的处理功能很少, 很像传统模式的“哑终端”, 只需要具有提交请求和显示响应的功能。具体实现方式如下:

- 1) 客户端从 Web 浏览器发出请求;
- 2) 将该请求通过 Internet 发送给 GIS 服务器;
- 3) GIS 服务器处理请求;
- 4) 处理结果返回给客户端, 并在 Web 浏览器上显示处理结果。

服务器端策略的前提是必须配置高性能服务器。该方式的优点是:

- 1) 由于客户端所用软件只是一个简单的浏览器, 客户基本上不需要培训, 客户端软件也无需维护;
- 2) 可以存取原先在本地计算机上无法处理或无法通过 Internet 传输的海量复杂数据;
- 3) 软件的升级与修改只在服务器端进行, 对客户透明;
- 4) 服务器与浏览器可处于不同的操作系统平台;
- 5) 涉及复杂硬件存取分析操作都可以在客户端很快地执行;
- 6) 可以通过服务器控制客户对数据的操作, 以保证数据安全性, 客户只能查看和使用权限范围内的数据。

服务器端策略的缺点在于:

- 1) 客户的每一项请求, 都必须由服务器处理, 然后通过 Internet 返回到客户端; 若遇到大量用户同时发出请求, 则服务器的响应能力将会降低。
- 2) 系统性能受到服务器端与客户端间 Internet 带宽和网络通信能力的影响, 如果涉及大数据量文件的传输, 性能将会降低。
- 3) 客户端仅提出请求并显示结果信息, 无法充分利用客户端的处理能力。
- 4) Web 动态技术不够成熟, 缺少统一标准等。

(2) 客户端除了发出请求和浏览结果外, 还可以完成部分简单的 GIS 功能 (如地图缩放、漫游、简单的查询等)。这种方式又称客户端策略。在该方式中, 可将部分工作转移到客户端处理, 有时称之为“Thick Client” (与瘦客户机相对应)。亦即, 并不是将所有的任务都交由服务器处理, 而是在客户端实时下载部分 GIS 功能模块, 或干脆驻留于客户端计算机上, 简单的数据处理是在本地进行的。

客户端策略的优点包括:

- 1) 利用了客户端计算机的处理能力;
- 2) 客户对于数据处理和分析过程具有较大的控制支配能力;
- 3) 一旦服务器发送了客户请求的处理结果, 客户在对结果数据的进一步处理过程中就不需要通过 Internet 频繁发送和接收信息。

客户端策略的缺点包括：

- 1) 服务器对客户响应会包括大量数据的传输，以及 Applet 的下载，造成延迟；
- 2) 若客户端计算机功能不够强大，就无法处理数据量大和复杂的数据集，易造成 GIS 空间分析能力的效率低下。

在技术实现方面，基于 B/S 模式的 WebGIS 主要有两种途径：

(1) 通过服务器端的处理，将空间查询和分析的结果以浏览器支持的 GIF 或 JPEG 格式传回到客户端显示。

(2) 直接通过 Web 传递矢量格式，并由在客户端事先安装的特殊插件完成结果的显示。一些简单的 GIS 操作（如缩放和漫游操作）也可以利用客户端插件的功能在本地实现。某些 WebGIS 在技术实现过程中传递的是矢量数据，但并不需要在客户端安装特定的插件，此时往往是通过自动下载 Java Applet 来实现的。

MapObjects IMS（简称 MOIMS）是 ESRI 公司推出的 WebGIS 控件，它就是基于 B/S 模式来实现 WebGIS 的解决方案的。以下以 MapObjects IMS 为例介绍 WebGIS 实现方式。MapObjects IMS 以 MapObjects 为基础，对于网络，创建一个服务器进程前需创建一个 MapObjects 应用程序。它提供了大量可方便设计的 GIS 功能与方法，因此便于程序员详细编写客户端与服务器端程序。换句话说，程序员用 MapObjects 创建服务器进程，并且用网页设计语言如 HTML、JavaScript 等进行客户端人机交互界面。图 11-5 为 MapObjects IMS 的基本体系结构。

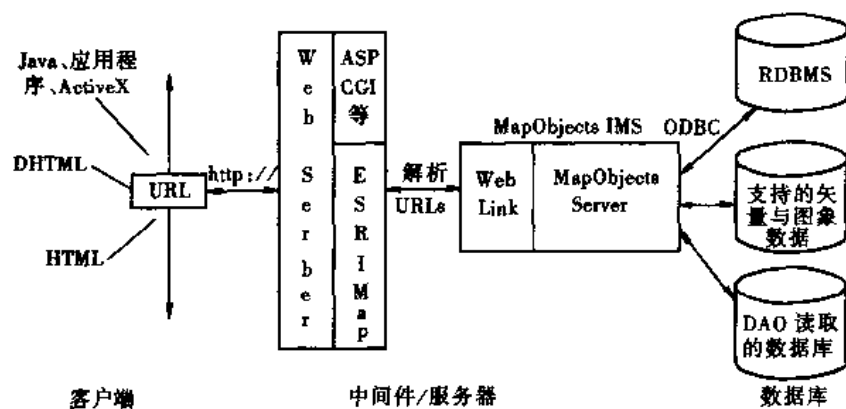


图 11-5 MapObjects IMS 的基本体系结构模型

MOIMS 主要由三部分组成：MapObjects 地图控件（一个 ActiveX 控件或 OCX）、Weblink 控件（另一个 ActiveX 控件）和 ESRIMap.dll（存在于 Web 服务器端的中间件）。MapObjects 地图控件提供与 GIS、制图相关的基本功能。它可生成、绘制地图、组织和管理空间数据、完成大多数程序所需要的各种空间查询；Weblink 控件是一个简单的 ActiveX 控件，它可侦听到 ESRIMap.dll 发来的参数请求；ESRIMap.dll 可以是 NSAPI 扩展或是 ISAPI 扩展。这个中间件在网络中扮演“交警”的角色，它提供负载平衡及请求队列。图 11-6 为一个典型 MOIMS 应用的请求/响应循环。

首先，客户端发出请求，请求参数对则由客户端送往 ESRIMap 中间件，这些参数对

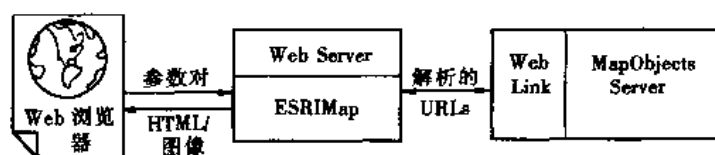


图 11-6 MOIMS 的请求/响应循环

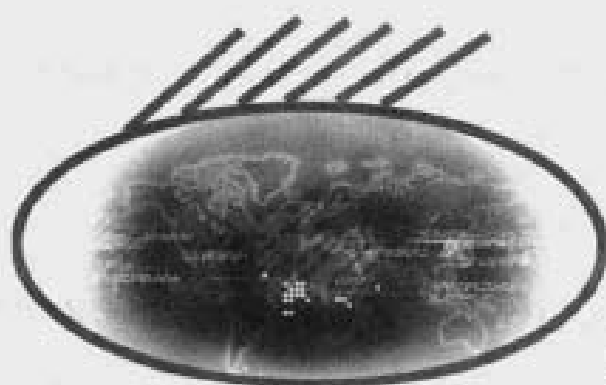
包含地图比例、查询点位、激活图层、可视图层等信息，它们由 HTML 定义并作为标记隐藏在 HTML 表单中，这些请求随后被中间件解析并送往服务器端的 MapObjects 应用程序处。MapObjects 应用程序将按客户端的请求执行相应的功能，执行结果依据客户需求被动态地写成 HTML，并发送给待回应的客户端浏览器。这个过程由 Weblink 的两个方法完成：WriteString 和 WriteFile。WriteString 功能是以 HTML 格式发送一行文本至客户端；WriteFile 功能是将结果图像（GIF 或 JPEG）直接发送到客户端。

目前国内外的 WebGIS 应用还都主要集中于地图信息数据的网上发布，以及简单的空间和属性的双向查询，还不能在 Web 上实现真正实用的 GIS 分析功能。一般认为，原因主要在于 Internet 带宽和网络通信能力等网络环境的限制，使得分析过程和分析结果的提交无法在正常人机交互时限范围内完成，同时由于 GIS 数据在数据量方面也是比较大的，因此，这方面也形成了一定的限制。

WebGIS 的未来将主要体现在网络实时 GIS 方面，例如：

- 监测交通工具的位置或交通情况，供系统决定设计运输路线；
- 监测天气和水文条件，以便进行洪水预警；
- 监测装有跟踪器的动物在其栖息地中的活动。

将实时 GIS 建立在 Internet 环境上的优点在于，各种来源的数据可以通过开放的网络环境传输，而不需要专门的电缆、电话和无线接收机。



12

常用开发平台简介

在电力 GIS 工程建设中, GIS 平台或开发工具的选择是非常重要的。电力 GIS 具有十分明显的行业特色,它需要支持平台或开发工具满足电力行业的业务应用需要。本章将对几种主要的电力 GIS 平台或者开发工具进行简要介绍。由于受资料限制和篇幅影响,这里仅以 Arc/Info、ArcGIS、InterGraph G/Technology 和 Map Info 为例加以介绍。有兴趣的读者可以根据自己的具体业务应用参考相关说明书。

12.1 Arc/Info



Arc/Info 是目前功能强大的专业 GIS 产品之一,它由 ESRI (美国环境系统研究所) 于 1982 年推出。迄今为止, ESRI 公司已经推出的最新软件及相关产品包括 Arc/Info 8 (Workstation Arc/Info 8 和 Desktop Arc/Info 8) 以及 ArcView3.2 等。Arc/Info 是世界上应用最广泛的 GIS 软件之一。其先进的设计思想和概念被其他产品借鉴和采纳,成为引导全球 GIS 发展方向的一面旗帜。目前, Arc/Info 在国内的客户已遍及全国各地,经过近十年来的努力,在测绘、遥感、制图、城市规划、资源管理、环境监测、灾害评估、交通、电力、电讯等领域, Arc/Info 都已获得了成功的应用,成为这些行业和应用领域的主流系统和平台。

Arc/Info 是一个具有丰富功能的通用 GIS 系列软件,提供了从数据采集、编辑、管理、输出等一系列实用功能。

1. 数据输入和编辑功能

地图数据的获取可以从数字化仪输入、图形扫描与矢量转换输入, Arc/Info 也能接收 GPS 数据,能对图形和属性数据进行编辑。

2. 数据转换和集成

能转换各种标准的矢量格式和栅格格式的数据、CAD 格式和图像格式的数据;全方位支持符合 SQL 标准的商用关系型数据库。

3. 基本 GIS 功能

提供地图投影及投影变换、数据维护及管理、多边形叠加分析及缓冲区分析等基本功能。

4. 完整的数据查询和显示工具

支持复杂空间数据和属性数据查询、丰富的图形显示等。

5. 地理数据管理

能对大型的分布式多客户数据库进行有效地存储管理，其中也包括栅格图像的显示和管理。

6. 客户界面

提供快速有效地生成图形客户界面的程序设计工具。

7. 二次开发能力

提供应用开发环境，使客户能交互式生成功能菜单，产生多种应用组合，应用过程可以自动执行。

8. 数据输出

提供数字地图制作、报表生成及制作高品质地图的功能。

Arc/Info 8 较之以前版本，除了全面兼容 Arc/Info7.x 的功能外，还给出了一套新的地理空间数据模型以及一个体系结构完全开放的全新设计策略，其框架结构如图 12-1 所示。

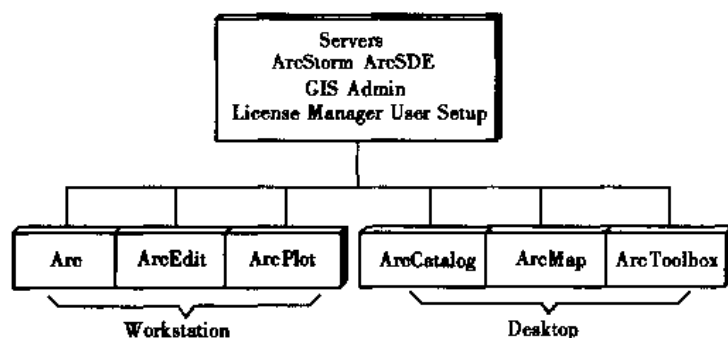


图 12-1 ARC/INFO 8 的模块结构图

注：ArcEdit 表示将 Arc 和 Edit 连起来成为 ArcEdit，其他同此。

Arc/Info 8 包含的核心应用与 Arc/Info7.x 相同。这些应用（Arc，ArcPlot 和 ArcEdit 模块）在 Arc/Info 8 中得到了升级或增强，这就确保了与旧版本应用的二进制级兼容。除此之外，Arc/Info 8 又增加了三个新的应用：ArcCatalog、ArcMap 和 ArcToolbox，提供了一个易于使用的、Windows 风格的客户界面，使得对 Arc/Info 的操作比以前更加简单。Arc/Info 8 引入的新的组件对象数据模型，超越了传统的点、线和面特征，并考虑了对象的建模，如：以更接近现实的方法表现杆塔和电力断路器。这些新的应用可根据客户的需要自行定制。

Arc/Info 8 的几个主要模块功能如下：

- (1) Arc：Arc/Info 的主要程序环境，它提供了启动其他子系统的命令。
- (2) ArcEdit：一个交互式图形编辑系统，它把 CAD 功能和地理数据库编辑的能力结

合在一起。

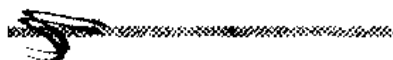
(3) ArcPlot: Arc/Info 的交互式绘图子系统, 它可以完成从简单的屏幕显示到高质量的制图输出等各种绘图任务。

(4) ArcMap: 它是一个以地图为核心的集显示、编辑、查询和分析地图数据等功能于一体的应用。此外, Arc Map 还包含一个复杂的专业制图和图形系统, 它既是一个面向对象的编辑器, 又是一个完整的数据报表书写器, 提供了将地图数据生成高质量制图输出的优越环境。

(5) Arc Catalog: 它是一个以数据为核心的用于定位、浏览和管理空间数据的应用模块。与 Windows 中的资源管理器类似, ArcCatalog 在 Arc/Info 8 中是 GIS 数据的管理工具, 勿须启动应用就可以浏览数据。客户可以利用 Arc Catalog 创建和管理空间数据库。Arc Catalog 是客户规划数据库表、指定和利用元数据的环境。

(6) ArcToolbox: 它是用于完成 Arc/Info 所提供的诸如数据转换、叠加处理、缓冲区生成和投影转换等空间数据处理的环境。它包含了 140 多个以向导形式和菜单选项来表示的空间数据处理过程, 使得以前在 ARC 命令行中完成的许多复杂的空间数据处理过程变得向导化和简单化。ArcToolBox 还能够在 TCP/IP 网络上建立一个客户/服务器的关系连接, 从而将处理任务送到一个服务器上, 并在指定的时间内完成。

12.2 ArcGIS



ERSI 继 1999 年推出 Arc/Info 8 之后, 在 2000 年又成功地推出了代表 GIS 最高技术水平的全系列 GIS 平台——ArcGIS 系列。

12.2.1 ArcGIS 8 的体系结构

ArcGIS 是一个统一的地理信息系统平台, 由三个重要部分组成: ArcGIS Desktop、ArcSDE 及 ArcIMS, 如图 12-2 所示。

1. ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop (桌面软件) 是一个一体化的高级 GIS 应用, 是 ArcView 8、ArcEditor 8 和 Arc/Info 8 三级桌面 GIS 软件的总称。三级软件共用通用的结构、编码基数、扩展模块和统一的开发环境。三级桌面 GIS 软件都由一组相同的应用环境构成——ArcMap、ArcCatalog 和 ArcToolbox, 其含义如 12.1 节中所述。通过协调这三种应用环境, 可以完成任何 GIS 分析和处理操作, 包括数据编辑、地理编码、数据管理、数据转换、空间处理与分析等。

2. ArcSDE

数据通路 ArcSDE 是一个用关系数据库管理系统 (RDBMS) 管理空间数据的接口。从空间数据管理的角度看, ArcSDE 是一个连续的空间数据模型, 借助这一空间数据模型, 可以实现用 RDBMS 管理空间数据库。在 RDBMS 中融入空间数据后, ArcSDE 能够提供对空间和非空间数据的高效管理和处理。由于 ArcSDE 采用的是客户/服务器结构, 结合了多

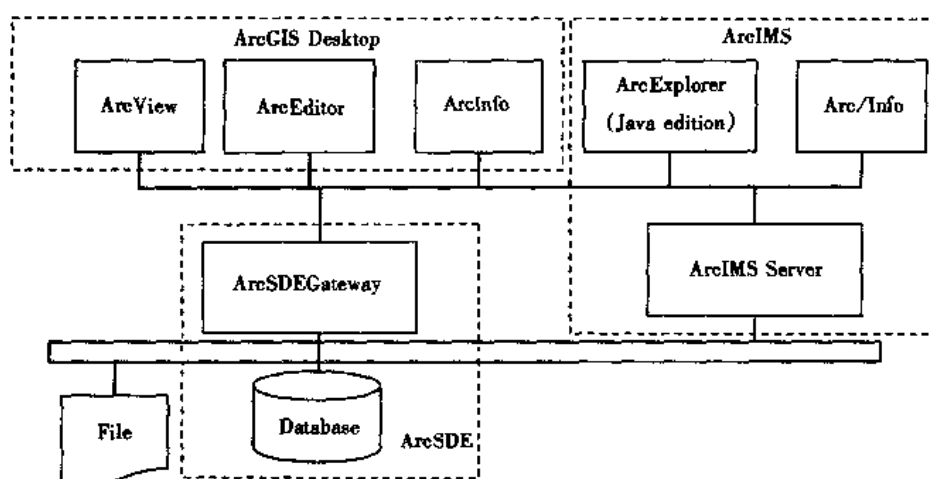


图 12-2 ArcGIS 8 的系统组成

用户编辑和对空间数据库的事务处理，支持对多用户空间数据库的设计、建立、编辑和共享，因此大量用户可同时对同一数据进行操作。ArcSDE 提供了应用程序接口（API），开发人员可将空间数据检索和分析功能集成到他们的应用工程中去。ArcSDE 的体系结构如图 12-3 所示。

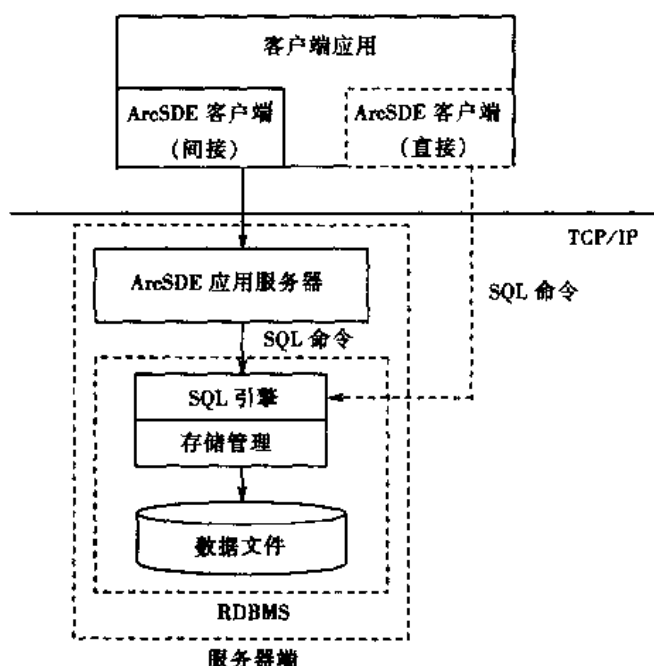


图 12-3 ArcSDE 的体系结构

图 12-3 中，客户端应用是最终用户运行的软件，它可以是 Arc/Info、ArcIMS 空间服务器或其他使用 SDE CAPI 的应用。在服务器端，有 ArcSDE 空间数据引擎（应用服务器）、RDBMS 的 SQL 引擎及其数据库存储管理系统。ArcSDE 通过 SQL 引擎执行空间数据的搜索，将符合空间数据和属性数据搜索条件的数据在服务器端缓冲存放并发回到客户端。ArcSDE 可以通过 SQL 引擎提取数据子集，其速度仅取决于数据子集的大小而与整个数据

集大小无关, 所以 ArcSDE 具有强大的海量数据管理能力。

3. ArcIMS

网络软件 ArcIMS 是基于 Internet 的分布式数据和服务的 GIS。基于 ArcIMS 可以建立大范围的 GIS 地图、数据和应用, 并将这些结果提供给 Internet 上的广大用户。ArcIMS 由客户端和服务端两方面技术组成, 它运行在一个分布式的环境中, 使得普通网络站点也能够提供 GIS 数据和应用服务。ArcIMS 的作用主要如下:

- (1) 扩展用户自己的 GIS;
- (2) 从多个数据源集成数据;
- (3) 自动调整系统以满足用户需要;
- (4) 提供获取 GIS 数据和位置服务的方法。

12.2.2 ArcGIS 8 的数据模型

ArcGIS 8 支持两种空间数据模型, 一种是传统的地理相关模型: 一种是面向对象空间数据模型, 即地理数据库模型 (GeoDatabase Model)。

1. 地理相关模型

Arc/Info 7.x 及更早期版本使用的空间数据类型就是地理相关模型, 这种模型强调的是空间要素的拓扑关系。在这种模型中, 地理数据的几何和拓扑关系存储在文件中, 而其属性则存储在数据库管理系统中。这种数据模型特别关注要素的几何特性, 把现实世界描述成一系列点、线、面空间要素以及以此为基础的区域、路径、事件等高级空间要素。该模型以其灵活性、可扩展性和高效性满足了广大 GIS 用户的需求, 然而这种模型也存在一些缺点, 它难以描述自然界丰富的地理对象, 同时很难扩展为针对用户或领域的要素模型。在 ArcGIS 8 中, 这种地理相关模型被扩展到允许用户为其数据添加行为、属性和关系的面向对象模型。

2. 地理数据库模型

地理数据库是为了更好地管理和使用地理要素数据而按照模型和规则组合起来的地理要素数据集。地理数据库在地理相关模型的基础上, 对支持复杂网络、支持要素类之间的关系、支持面向对象的要素进行了扩展。地理数据库对地理要素类和要素类之间的相互关系、几何网络、属性表对象、注释类等进行有效管理。

地理数据库把地理数据组织成层次型的数据对象, 包括对象类 (Object Classes)、要素类 (Feature Classes)、要素数据集 (Feature Datasets)。一个对象类在地理数据库中是一个表 (Table), 存储非空间数据。一个要素类是具有相同几何类型和相同属性的要素的集合。一个要素数据集是共享空间参考系统的要素类的集合。地理数据库使空间要素的定义更接近于现实世界, 这种面向对象的数据模型, 使用户可以根据具体需要进行扩展, 具有用户可定义的特征。

地理数据库模型是定义地理信息的一种模型, 它适用于不同的用户和应用。地理数据库模型支持面向对象的矢量数据结构, 实体被表示为对象, 具有属性、行为和关系。它支持各种各样的地理对象类型, 这些对象类型包括简单对象、地理要素、网络要素、注释要

素以及其他特殊的要素类,通过模型可以定义对象之间的关系和完整性规则。

地理数据库模型为地理信息定义了一个一致的模型,利用该模型可以定义和操作不同用户应用的具体模型(如流体模型、通信模型和其他数据模型)。通过定义和实现这些地理数据模型, ArcGIS 8 为创建和操作不同用户的数据模型提供了一个功能完备的平台。ArcGIS 8 允许用户使用可视化工具如 CASE 和标准的 UML 创建和定制数据模型。

就具体实现而言, ArcGIS 8 地理数据库是在 ArcSDE 应用服务器所基于的标准关系数据库之上实现的。ArcSDE 为用户定义了一个连接数据库系统的开放接口,允许 ArcGIS 在各种不同的数据库平台上(包括 Oracle、SQL Server)管理地理信息。ArcGIS 8 包括 SDE 技术的完全个人化的版本,被称作 Personal ArcSDE,它运行在 Microsoft Jet Database Engine 平台上。Personal ArcSDE 是单用户可写的,对于那些想在客户/服务器模式下的多用户数据库(如 Oracle 或 SQL Server)环境中管理数据的用户,可选择 ArcGIS 8 的扩展模块 ArcSDE。

12.2.3 ArcGIS 8 的特点

ArcGIS 的特点主要体现在以下几方面:

1. 强大的编辑功能

ArcGIS 8 中的 ArcMap 提供了一体化的地图绘制、编辑、显示与输出的集成环境。在此环境中,用户不仅可以按照要素属性编辑图形,而且可以直接绘制和生成要素数据;不仅可以在数据视图中按照特定的符号浏览地理要素,而且可以在版面视图中生成并打印输出地图。它的强大的制图编辑功能主要有:

- (1) 在多用户环境下编辑与比例尺无关的数据库的数据模型;
- (2) 可访问多种数据源;
- (3) 支持复杂的、动态的表达及更多的输出格式;
- (4) 支持智能化、多种方式的地图注记;
- (5) 自动生成坐标格网和经纬网;
- (6) 多样化的地图符号及字体库。

2. 灵活的定制开发

由于 ArcGIS 的模块化和可伸缩性,它为构造和开发应用系统提供了更大的灵活性。ArcGIS 中的 ArcMap 提供了多个不同工具条来对数据进行编辑和操作,此外用户也可以添加自定义工具。ArcGIS 8 是通过面向对象的组件技术构建的,因而非常便于高级开发人员对 ArcGIS 8 进行结构定制和功能扩展。ArcGIS 的组件集合组成了 ArcObjects,它提供了超过 1100 个独立的 COM 组件,既可以通过内嵌的 Visual Basic Application 进行二次开发,也可以通过任何一种支持 COM 的编程语言如 VC++、VB、VJ++ 或 Delphi 进行开发与定制。

3. 便捷的元数据管理功能

元数据是对数据进行描述和定义的数据,包括与空间数据相关的很多有用信息,如数据属性全名、原始数据比例尺、定位精度和投影等。ArcGIS 8 可以管理其支持的所有数据类型的元数据,包括 Arc/Info Coverage、ESRI Shape file、CAD 图形、影像、Grid、TIN、PC

Arc/Info Coverage、ArcSDE、Maps、Layers、Info 表、DBase 表等。它可以建立自身支持的数据类型的元数据,也可以建立用户定义数据的元数据(如文本、CAD、脚本),并可以对元数据进行编辑和浏览。其中的 ArcCatalog 支持多种常用的元数据,提供了元数据编辑器以及用来浏览的特性页。它们都是完全自定义的,所以能对任何格式的元数据进行编辑和存储。元数据的存储采用 XML 标准。

12.3 InterGraph G/Technology



INTERGRAPH 公司是世界上著名的交互式计算机图形系统公司之一。G/Solution 是该公司提供的以 G/Technology 系列产品为基础的面向企业地理空间资源管理 (Geospatial Resource Management, GRM) 的整体解决方案,为电力、电信、有线电视、煤气、管线和自来水等行业提供了可配置的快速启动模型。G/Technology 是一个集成了 AM/FM/GIS (AutoMapping / Facility Management / Geographic Information System) 的产品。本节主要介绍该公司 G/Technology 产品组成及各个部分的主要功能,有兴趣的读者可参阅其产品的详细资料。

1. G/Technology 的组成

G/Technology 根据企业的工作流程和工作角色分成五个部分: G/Administrator、G/Designer、G/Analyst、G/NetViewer 和 G/MobileViewer。这五个部分各司其职,能将企业整个设施网络真实地模拟在计算机系统中,地理空间数据以设施为单位在企业的各个业务部门流转,形成了一个有机的、富有生命力的 AM/FM/GIS 应用系统。其组成示意如图 12-4 所示。各部分主要功能如下。

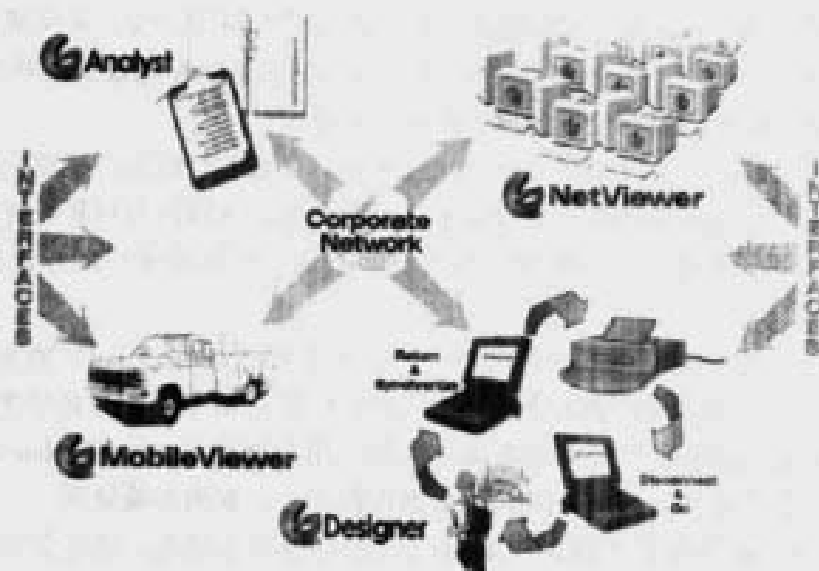


图 12-4 G/Technology 的组成示意

(1) G/Administrator。G/Administrator 是专为企业的系统管理员、超级用户和高级计算机人员设计的。它主要包含一系列系统管理命令及将 AM/FM/GIS 系统集成到企业 GRM 系统中的必要命令。G/Administrator 提供的功能有:

- 1) 数据库模式管理, 包括维护和配置元数据、数据库分布式管理等。
- 2) 配置动态显示缓存 (DDC) 容量和定制 DDC 的数据发布, 包括:
 - 坐标系统转换: 这一功能提供了将图形从数据库中发布到坐标系统中, 而不是按照原有存储形式发布;
 - 发布区域数据: 这一功能提供了将数据库中的某一部分数据发布到单独的 DDC 中;
 - 大容量数据设置的支持: 这是一个增强功能, 支持大容量数据设置和提高系统的吞吐量;
 - 增量的数据发布;
 - 数据发布定义和管理工具;
 - 第二数据源发布。
- 3) 将第二数据源加入到动态显示缓存中。
- 4) 函数、功能接口定义。
- 5) 初始化工单管理设置。
- 6) 增加或修改图例定义, 控制显示优先权。
- 7) 设施、组件及其相关关系定义。
- 8) 增加或修改设施符号、线型、字体的定义。
- 9) 配置标准报表、查询、追踪等功能。
- 10) 支持第三方数据格式: AutoCAD、MicroStation、GeoMedia、MapInfo、Arc/Info 等格式。

(2) G/Designer。G/Designer 是面向企业中负责设计和维护地图或网络设施资源模型的技术人员提供的应用。它提供了结构化的环境, 带有所有用于完成日常模型设计与维护任务的工程设计所需要的工具。G/Designer 提供所有浏览和访问设施数据的技术, 以及用于设施数据、工作管理和大范围绘图的放置与编辑功能。

(3) G/Analyst。G/Analyst 面向企业的工程规划、市场和设施资产管理应用。G/Analyst 支持行业具体的分析与报表功能, 支持基本的数据浏览、访问能力和复杂的分析功能, 可对设施资产模型进行常规地和随机地分析及空间查询, 可进行缓冲区分析并生成专题图等。

(4) G/NetViewer。G/NetViewer 提供多用户、多部门的企业级 GRM 数据访问、浏览、红线标注和更新等功能。用户通过企业计算机网络可以在整个企业中多层次的应用 G/NetViewer, 为企业横向的数据挖掘奠定基础。例如, 用户通过 Internet Explorer、G/NetViewer 可以抽取和交互操作数据, 进行地理设施数据库的浏览、查询和编辑等。

G/NetViewer 由应用服务器和客户端 ActiveX 控件两部分组成, 通过企业内部计算机局域网访问动态显示缓存, 使用 Microsoft Data Access Components (MDAC) 从各种数据源集成信息。G/NetViewer 采用标准的 ASP、VBScript、JavaScript 等语言作为开发工具。

(5) G/MobileViewer。G/MobileViewer 是 INTERGRAPH 公司提供的用于移动访问的产品, 以确保野外作业人员对企业应用信息系统的访问。其主要功能包括: 在外业设备如便携机上浏览地图; 结合 GPS 进行地图定位; 查询地理设施的属性数据; 进行预制的追踪

和空间分析功能；编辑设施并可在联机时导回主数据库等。

另外，根据不同的行业特点 INTERGRAPH 公司提供了针对不同公用事业行业的快速启动工业模型，从而又将 G/Technology 划分为针对电力企业的 G/Electric、电信企业的 G/COMMS、天然气或煤气企业的 G/Gas 以及给排水行业的 G/Water 等。

G/Electric 是 INTERGRAPH 公司为电力企业配置的电力设施网络模型，包含了配电室、高低压导线、母线、断路器、隔离开关、熔断器、变压器、电容、发电机、电力井、地物设施（道路、河流、房屋等）等等。它按照电力行业布网施工的规范标准，为这些设施定义了连接、从属、生命周期等网络拓扑逻辑关系，并预置了通用的电力设施放置和规则验证函数。

同时，G/Electric 还提供下列显著的功能：

- 1) 标准的 GIS 分析功能：缓冲区分析、最短路径分析、加权路径分析等。
- 2) 电力网络通用的分析功能：电网潮流分析、短路分析等。
- 3) 详图功能：变电站的接线图等。
- 4) 协同工作（工单）管理功能：支持设施从立项、设计、施工、验收直到竣工的整个过程的流转，支持多用户、多部门的协同工作。
- 5) 可配置的查询、追踪功能：用户可按日常工作要求灵活配置各种条件的查询和追踪功能，不需编程。
- 6) 可配置的报表功能：用户可按照本部门工程报表的要求，在系统中不需编程任意定制文本格式、Oracle 报表格式、Excel 报表格式，并可编程实现其他格式的报表输出。
- 7) 灵活的制图功能：G/Electric 支持 OLE 技术，用户既可任意将系统的地图或数据窗口中的内容拖拽到绘图窗口，也可将 Word、Excel、Visio 等支持 OLE 软件产生的结果嵌入绘图窗口，然后自行排版，添加标签打印出来。
- 8) 预置的接口功能。
- 9) 支持照片、航测图片和卫星遥感图片、影像图、栅格图的显示。

如图 12-5 是 G/Electric 平台根据用户申报的信息，例如姓名、地址、电话号码等，在地图上自动定位出故障点，并给出相关的故障信息的应用示意。

2. 对企业 GRM 的支持构件 InService

InService 是 Intergraph 提供实现 GRM 系统中运行管理子系统（OMS）和劳动力管理系统（WFMS）的核心软件包，其中 InService 的输配停电管理功能模块（L/Trouble Analysis 和 L/SCADA）可为用户提供故障分析、故障排除和开关/阀门切换的可行性方案；人力管理模块（L/AutoDispatch 和 InService Dispatcher）可提供人车调派和优化路径的最佳方案；移动计算模块（L/Mobile）可负责企业的日常事务、故障检修和维护；其他的象与外部系统的集成和决策支持工具也包含在 InService 之中。

(1) Inservice 的特点。

- 可实现跨部门的资源共享；
- 可实现跨部门的数据库访问；
- 故障呼叫功能的实现；

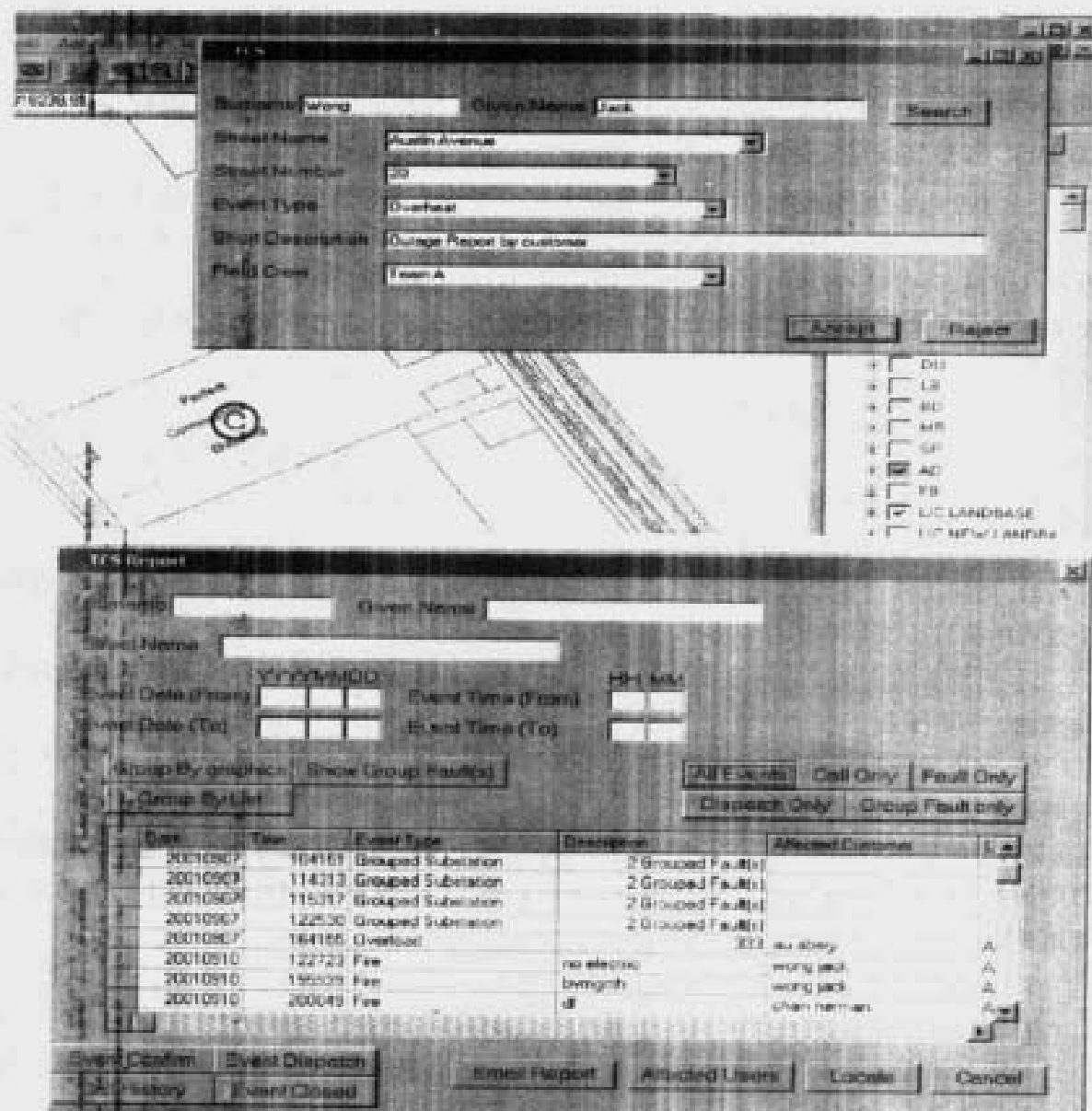


图 12-5 G/Electric 平台根据用户申报的信息在地图上自动定位出故障点的画面

• 提供开发与系统管理环境一体化，简化的系统管理功能，缩短应用系统开发时间，低的维护支持费用；

• 实现企业各部门业务应用的统一的人机界面；

• 实现统一的调度中心成为可能。

(2) InService 的组成与功能。InService 是由一系列商业化的可配置的组件组成，如图 12-6 所示。每个组件负责特定的功能，包括故障分析、开关/阀门切换方案、人员派遣、工程日程安排、移动计算、决策支持工具、故障抢修派工等。

此外，还提供下列功能：

• 提供与实时信息系统的接口，包括 SCADA、自动化调度系统、遥测系统，可以在



图 12-6 InService 可配置的组件组成示意图

显示各种实时数据:

- 提供与工作管理系统、ERP 系统、GIS 和 IVR 等系统的接口;
- 与现有的 AM/FM/GIS 中的设施网络模型相集成;
- 高性能的图形引擎,快速高效地显示地图;
- 集中分派多种类型的工作,包括日常和紧急的工作,如事故或故障抢修任务派工,日常计划任务的派工;
- 扩展的派工功能。包括通过 GPS 技术准确显示实时的交通信息,可以在精确的地理图上显示工程检修车或事故抢修车的当前地理位置;
- 高的可用率。系统的可用率保持在 99% 以上,这是一个 24 × 7 的工作系统,可以不间断地运行。

12.4 MapInfo

12.4.1 MapInfo 简介

MapInfo 是美国 MapInfo 公司的产品。该公司自成立以来,始终致力于为客户提供先进的数据可视化、信息地图化技术,并将这些技术与主流业务系统集成,提供完整的解决方案。MapInfo 吸取了传统 GIS 的精华,并借助于计算机技术的发展,及时将 GIS 概念从中大型计算机的专用工作站上介绍到普通桌面 PC 上,开创了一种崭新的信息系统模式,即桌面地图信息系统。MapInfo 的出现,吸引了越来越多的客户。MapInfo 在我国统计、信息中心、测绘、邮电、水利、电力、油田、林业、军队等部门得到了广泛应用。

MapInfo 的出现与发展顺应了有需求就会有发展的自然潮流。随着信息系统的发展,其应用面越来越广泛,它所包含的数据类型也趋于复杂化和多样化。人们对信息系统的功能要求已不仅仅满足于信息的管理、分析和统计,需要更强的信息分析工具以发掘信息的深层含义,以提供强劲的决策支持能力;人们已不满意传统的信息系统只能从数据库中提供以文字信息为主的单一模式,需要有更直接、更直观和更接近自然的表現手段。

MapInfo 以其桌面产品 MapInfo Professional 为起点,为客户提供完整的地理信息解决方案,并将其概念和优越性介绍给普通客户,使该产品为越来越多的人所认识。为适应日新月异的网络技术和数据库技术的发展,近几年来,MapInfo 围绕其桌面地理信息技术,又不断推

出了其系列产品,以帮助有各种需求的客户实现信息可视化和思维可视化,给客户提供一个整套工具,有效地发掘数据库中的信息,为业务系统提供更好的决策支持和分析能力。

MapInfo 公司的系列产品主要有:

- 桌面地理信息系统 MapInfo Professional，其主界面如图 12-7 所示。
- 网络解决方案 MapInfo ProServe。
- 数据库服务器产品 MapInfo Spatialware MapInfo ActiveX。
- DEC Alpha NT 产品 MapInfo Professional for DEC Alpha NT。
- 开发工具 MapInfo MapBasic。

12.4.2 MapInfo 的技术特点

1. 强大的地图表达与处理功能

MapInfo 作为一种功能强大的图形软件,利用点、线、区域等多种图形元素以及丰富的地图符号、文本类型、线型填充模式和颜色等表现类型,可详尽、直观、形象地完成电子地图数据的显示。同时,MapInfo 可对位图文件(如 GIF、TIF、PCX、BMP 等)和航片、照片等栅格图像进行屏幕显示,根据实际需要还可以对其进行矢量化。

此外, DXF 格式的数据文件, 也可以直接运用于 MapInfo 当中。

MapInfo 采用层的概念来组织和管理数据,对地图进行分层处理。客户可以通过图形分层技术,根据自己的需求或一定的标准对各种图形元素进行分层组合,将一张地图分成不同图层。例如,对于某个城市图,可分为行政区划、道路、河流、建筑物、标注等若干层。MapInfo 还设有装饰层,客户可将所画的图形在装饰层里编辑,认可后再存入相应层。

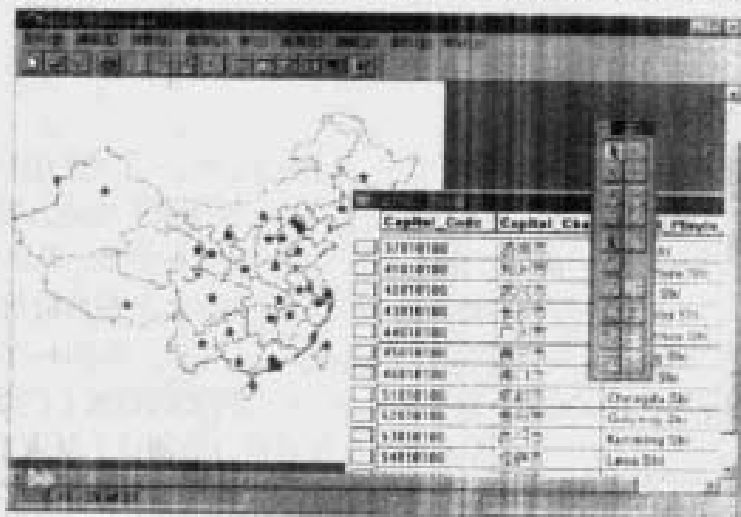


图 12-7 桌面地理信息系统 MapInfo Professional 主界面

2. 关系型数据库管理系统

MapInfo 内置关系数据库管理系统, 支持 SQL 查询, 每个库可有 255 个字段, 最多可存放 20 亿条记录。

MapInfo 具有动态链接关系数据库的功能。可直接读取 FoxBase、Clipper、Lotus1-2-3、

Excel 以及 ASCII 文件。在客户/服务器模式的网络环境中, 通过 SQL DataLink 数据链接软件包提供的 QELIB、ODBC 接口, 可以同远程服务器链接, 直接读取 Sybase、Oracle、Ingres、DB/2、SQLBase 等十几种大型数据库中的数据。

3. 数据查询分析功能

MapInfo 具有很强的查询分析功能, 它能够精确地在屏幕上查询、分析相应的地理数据库信息。对于简单的查询分析, MapInfo 提供了对象查询工具、区域查询工具、缓冲区查询以及一些常用的逻辑与数据查询分析函数, 客户随时可运用灵活的查询工具或运用函数建立表达式的方式完成; 而对于较复杂的查询分析, 则可通过运行 MapBasic 编写程序来实现。

4. 数据的可视表达方式

MapInfo 采用了地图、浏览表格、图表以及三维数字高程模型等多种不同的方式对数据库内容进行描述, 这几种视图均可动态链接。当客户改变某一张视图的数据时, 其他视图会实时自动地作相应变化。

5. 图形输入输出功能

使用 MapInfo 软件可处理通过扫描仪、数字化仪输入的数据。利用其相应的硬件支撑平台, MapInfo 在灵活地调整了版面内容及相对比例之后, 可以通过彩色绘图仪、打印机输出任意比例的图形、电子表格、图表及图例, 或直接将窗口中显示的矢量地图转成 bmp 文件或 Metafile 文件。

12.4.3 MapInfo 的数据组织

MapInfo 采用双数据库存储模式, 即其空间数据与属性数据是分开来存储的。属性数据存储的关系数据库的若干属性表中, 而空间数据则以 MapInfo 的自定义格式保存于若干文件中, 二者通过一定的索引机制联系起来。为提高查询和处理效率, MapInfo 采用层次结构对空间数据进行组织, 根据不同的专题将地图分层 (图层还可以分成若干图幅), 每个图层存储为若干个基本文件。其文件格式及数据关联机制如图 12-8 所示。

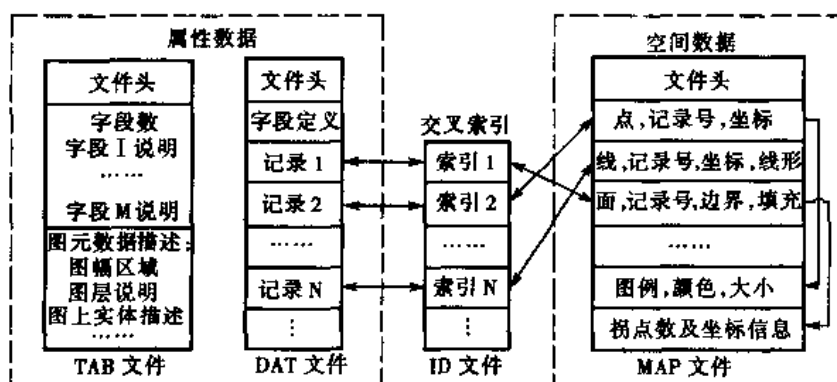


图 12-8 MapInfo 的文件格式及数据关联机制

1. 属性数据的表结构文件 .TAB

属性数据表结构文件定义了地图属性数据的表结构, 包括字段数、字段名称、字段类

型和字段宽度、索引字段及相应图层的一些关键空间信息描述。 .TAB 文件实际上是一个文本文件，可以在写字板中打开观察其内容。

2. 属性数据文件 .DAT

属性数据文件中存放完整的地图属性数据。在文件头之后，为表结构描述，其后首尾相接地紧跟着各条具体的属性数据记录。

3. 交叉索引文件 .ID

交叉索引文件记录了地图中每一个空间对象在空间数据文件 (.MAP) 中的位置指针。每 4 个字节构成一个指针。指针排列的顺序与属性数据文件 (.DAT) 中属性数据记录存放的顺序一致。交叉索引文件实际上是一个空间对象的定位表。

4. 空间数据文件 .MAP

具体包含了各地图对象的空间数据。空间数据包括空间对象的几何类型、坐标信息和颜色信息等。另外还描述了与该空间对象对应的属性数据记录在属性数据文件 (.DAT) 中的记录号。这样，当用户从地图上查询某一地图对象时，就能够方便地查到与之相关的属性信息。

5. 索引文件 .IND

索引文件并不是必须的，只有当用户规定了数据库的索引字段后 MapInfo 才会自动产生索引文件。索引文件中对应于每个索引字段都有一个索引表。在每个索引表中，先给出总的数据库记录数目，然后按照索引顺序给出每条属性数据记录在对应的索引字段处的具体属性数据和该记录在属性文件 (.DAT) 及交叉索引文件 (.ID) 中的记录号。图 12-9 所示表示了 MapInfo 的索引文件机制。

12.4.4 基于 MapInfo 的二次开发

为方便客户的应用开发，MapInfo 还提供了能让客户开发和使 MapInfo 自动化的 MapBasic 语言。客户利用它可以开发出具有可移植性强、强大的数据库访问能力和与其他应用系统交互性好的应用系统。MapBasic 是一种基于 Basic 语言的编程工具，它还具有易学易用等特点和模块化的程序设计方法。MapBasic 语句直接嵌入到一些目前流行的编程软件（如 Visual C++，Visual Basic，Delphi，PowerBuilder）中，进行混合程序设计，可开发出基于 MapInfo 具有强大的集 GIS 数据编辑、查询、统计功能于一体的 GIS 应用软件。由于 MapBasic 语言的语法同 Basic 语法一致，因此，用 VB 与 MapBasic 结合进行二次开发具有较大的优势。以下简单介绍一下如何使用 VB 开发工具及 MapBasic 进行二次开发。

首先，在 VB 中要创建 MapInfo 对象，例如：

```
Set MapInfo = CreateObject ("MapInfo.Application")
```

创建对象后，就可以调用 MapBasic 的函数、语句、命令来执行相应的功能。

函数调用：调用 MapBasic 的函数可使用 MapInfo 对象的 eval 方法，函数体的常数部分用引号标注。例句如下：

```
id = MapInfo.eval ("WindowID (0)")
```

说明：WindowID (window-num) 是 MapBasic 的一个函数，功能是返回参数 window-num

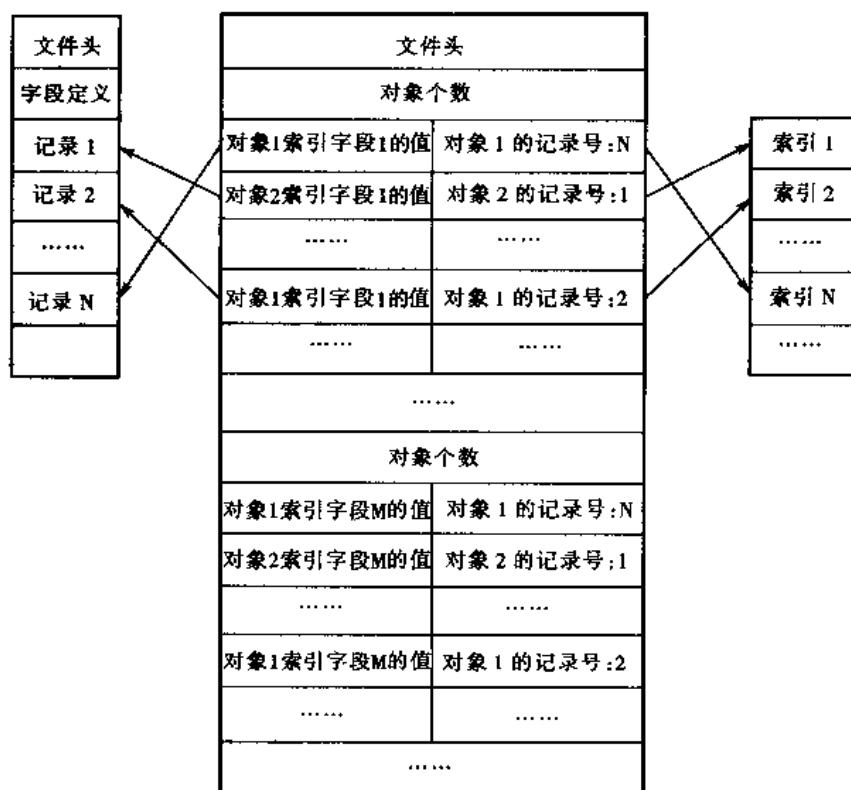


图 12-9 MapInfo 的索引文件格式及数据关联机制

所指定的窗体的窗口号。本例句的参数为一常数，若参数为一变量，则用“&”符号连接，例如：

```
id = MapInfo.eval ( "WindowID ( " & window-num & ")" )
```

语句调用：调用 MapBasic 的语句可使用 MapInfo 对象的 do 方法，其中常数部分用引号标注。例句如下：

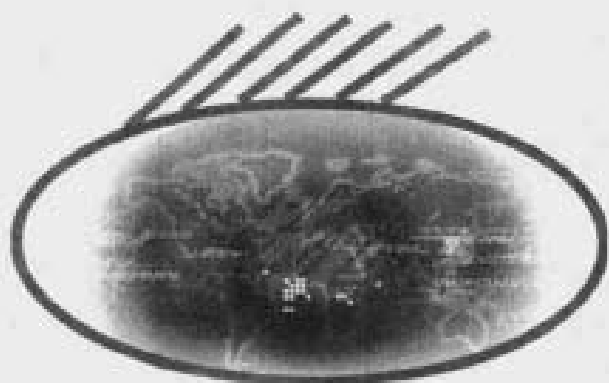
```
MapInfo.do "Open Table" "STATES.TAB" "ReadOnly Interactive"
```

说明：“Open Table”功能是打开一张表，由于 STATES.TAB 本身需加引号，因此，在调用该语句时应加双重引号。

命令调用：调用 MapBasic 的命令可使用 MapInfo 对象的 RunMenuCommand 方法，例句如下：

```
MapInfo.RunMenuCommand 1702
```

说明：1702 为漫游命令。



附 录

电子地图分层 与处理系统

1. 系统研发背景

地理信息系统技术已应用于国民经济建设的各个领域。随着城市化和信息化建设步伐的加快,在应用的广度和深度方面还将得到进一步加强。从技术发展背景看,它是在计算机辅助设计(简称 CAD)的基础上为满足客户对图形处理和分析的要求而逐步发展起来的。由于二者应用目的存在本质差异,因此它们对数据的要求也不一样。反映在, GIS 所表示的数据必须是地理实体的客观描述,惟此才能完成一系列正确的空间运算和操作,例如空间查询、统计、空间分析。而 CAD 的要求相对要低,只要能生成和输出美观的电子地图,基本可以满足要求。

在我国, CAD 的发展和应用具有坚实的基础,培育了大批制图人员。许多部门针对其具体需求,自行数字化或通过其他途径得到了电子版的 CAD 图形,满足了日常出图需要。但随着业务的扩展、信息量的增大以及正确决策的客观要求,已经或正在考虑采用 GIS 技术对图形和相应的属性进行有效管理,最终目的是提高工作和管理的质量与效率,实现科学决策。为达到这一目的,而又能够充分利用已有电子地图,减少资源浪费,基本上都存在这样的要求:即把 CAD 数据作为 GIS 的一个重要数据源。

一个不容忽视的现实是,将 CAD 数据直接应用于 GIS 中,往往是不可行的。主要是因为, CAD 的数据不符合 GIS 要求。例如, CAD 形式的地图往往存在道路不连续、符号化表示与 GIS 不相容、建筑物不完全封闭、注记无法与地物关联、未正确分层等诸多问题,难以为 GIS 所用,因此必须对现有电子地图进行规范化处理。这是避免人、财、物和时间重复投入、实现数据再利用的有效途径。

针对以上情况,我们在充分考察各部门建设 GIS 的现状基础上,利用最新技术,开发出一套功能齐全、针对性强、经济适用的电子地图分层处理系统(简称 Layer 或 Layer2000, Layer@public.wh.hb.cn)。该系统能完成电子地图的自动分层以及面向地物的一系列处理功能,并已应用于电力 GIS 的建设中,为解决地理数据的规范化、适应 GIS 工程建

设需要提供了方便、有效、快捷、自动化程度高的解决方案。

2. 系统特点

Layer2000 的主要特点包括：

(1) 适应面广。可满足建设 GIS 的各个部门对电子地图处理的需要，例如：测绘、土地、规划、房产、交通、市政、电力、电讯等。

(2) 针对性强。专门处理不符合 GIS 要求的电子地图数据。包括各种 CAD 数据以及 GIS 中本身不合要求的数据。

(3) 数据兼容能力强。可直接处理 MapInfo 格式的数据；可直接转换通用数据格式（如 dwg、dxf），以满足系统处理的需要；可利用 MapInfo 转换 Arc/Info 数据；可将处理结果直接转换为通用数据格式；可利用 MapInfo 将结果转换为 Arc/Info 数据。

(4) 图幅数量不限。理论上，对于一次处理的图幅数量没有限制，但由于受计算机系统配置和处理能力的制约，建议采取多次处理，每次处理少量图幅，这样可以极大地提高处理效率。

(5) 自动化程度高、速度快。许多处理过程均由系统自动处理，人工干预情况较少，如：自动分层、自动提取注记、图幅的自动合并、冗余节点的自动删除、不连续线的自动连接与合并、地物跟踪处理等，因而系统的处理速度得以大幅度提高。

(6) 自动分层的精度不变。在自动分层过程中，处理后的各种地物的地理指标（如位置、大小等）与处理前一样，保持不变。

(7) 智能判断技术。能对注记与其属主地物、相邻线、冗余节点等进行智能判断，施以正确处理。

(8) 数据录入方式灵活多样。设计实现了灵活多样的数据录入方式。例如对单条记录进行快速准确编辑、同时进行纯属性记录的复制、同时进行纯地物的复制、同时进行地物连同属性的复制、同时对单列指标进行整体替换、即时为无地物的记录添补地物等，并且提供日期型数据的选择输入功能。

(9) 丰富的内嵌辅助功能。除提供主要的功能外，还内嵌了一些重要的实用功能。例如不同坐标系的转换、从 Access 的 MDB 数据库获取属性、地物国标分类编码的查看、数值指标的输出等。

(10) 支持各种输出设备。只要安装输出设备（打印机、绘图仪），并在输出前选定对应的输出设备，则可直接将地图输出到该设备上，可以输出任意大小、比例的地图。

(11) 界面友好、操作简便。具有完全语义的对话界面，辅以便于的帮助提示功能，为迅速掌握和使用系统提供了便利。

3. 适用环境

(1) 适用的数据环境：

1) MapInfo 格式的数据；

2) AutoCAD 格式的数据；

3) Arc/Info 格式的数据 (需由 MapInfo 转换)。

(2) 适用的支持平台:

1) MapInfo Professional (4.0 及以上);

2) MapInfo Runtime (4.0 及以上)。

(3) 适用的操作系统环境: Windows 9x / NT/2000。

4. 系统配置要求

无特殊要求。但为了取得较高的运行效率, 建议配置高性能的硬件。

5. 版本升级

预计将在近三年内陆续推出支持各种数据格式的升级版电子地图分层与处理系统。

参 考 文 献

1. Gatrell, A. C. Concepts of space and geographical data, in Maguire, D. J., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. Geographical Informational Systems, 1991, Vol 1, Harlow: Longmans. 119-134
2. Goodchild, M. F. and Shiren, Y. A hierarchical data structure for global geographical information systems, Graphical Models and Image Processing, 54 (1), 1992: 31-44
3. Gunther, O. and Bilmes, J. Tree-based access methods for spatial databases: implementation and performance evaluation, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 3 (3), 1991: 343-356
4. Michael N. D. Fundamentals of geographic information systems, John Wiley & Sons, Inc.
5. Rongxing Li, Data Structures and Application Issues in 3-D Geographic Information Systems, GEOMATICS, (2), 1994.
6. Graeme F. Bonham-Carter, Geographic Information Systems for Geoscientists: modeling with GIS, Kidlington: OX Pergamon, 1994.
7. John C. Geographic Information Systems: a guide to the technology, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
8. 刘健, 倪建立, 邓永辉. 配电自动化系统 (第二版). 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
9. 杭大建. 嘉兴电网 SCADA/EMS/DTS/DMS/MIS 的一体化管理, 电网技术, (5), 2000.
10. 奚毓敏. GPS-RTK 在线路测量工程中的选定线方法, 电力勘测, (1), 1999.
11. 苏进喜等. 基于 GPS 的新型输电线路故障定位装置的研制, 电网技术, (6), 1999.
12. 张焰等. 不确定性的电网规划方法研究, 电网技术, (3), 1999.
13. 金竹声, 周庆捷. 供电企业输变电运行和生产管理的综合信息系统, 电网技术, (5), 1999.
14. 王学超. 配电网自动化中的动态地理信息系统, 电网技术, (8), 1999.
15. 吴元华等. 基于决策支持系统的配电网优化规划, 现代电力, (3), 1999.
16. 赵文光等. 新的雷电综合定位系统的定位计算, 高电压技术, (4), 1999.
17. 曹冬明等. 一种新型故障定位方法的研究, 中国电力, (5), 1999.
18. 曾祥君. 基于整个输变电 GPS 行波故障定位系统的研究, 电力系统自动化, (10), 1999.
19. 彭宇新等. 基于 C/S 体系结构的贵州电力地理信息系统的开发, 贵州工业大学学报, (1), 1999.
20. 王天华等. 基于地理信息系统平台的配电网空间负荷预测, 电网技术, (5), 1999.
21. 邱家驹. 基于地理信息系统的电力系统静态安全分析可视化方法, 中国电机工程学报, (5), 1995.
22. 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量, 武汉测绘科技大学出版社, 1996.
23. 杜道生. RS、GIS、GPS 的集成与应用, 测绘出版社, 1995.
24. 王汉汀. 地理信息系统及其在电力勘测中的应用, 电力勘测, (4), 1997.
25. 吴华意, 龚健雅, 李德仁. 缓冲曲线和边约束三角网辅助的缓冲区生成算法, 测绘学报, 28(4), 1999.
26. 阎君等. 地理信息共享与开放式地理信息系统技术研究, 中国图像图形学报, (2), 1998.
27. 马驰, 荆少年, 张瑞龙. GPS 选线技术经济分析, 电力勘测, (4), 1998.
28. 朱庆. DEM 建库方案, 测绘信息工程, (2), 1999.
29. 杨战辉. 用 VirtuoZo 数字摄影测量工作站生产 DEM、DOM 的试验, 测绘通报, (11), 1998.
30. 毋河海, 龚健雅. 空间数据结构与处理技术, 北京: 测绘出版社, 1997.
31. 毛锋等. 地理信息系统建库技术及其应用, 北京: 科学出版社, 1999.